

AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DO ESTADO DA ARTE DA ILUMINAÇÃO A LED.

Simaia Roberta Nascimento

PROJETO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

Aprovada por:

D. Eng. Jorge Luiz do Nascimento
(Orientador)

Ph. D. Sergio Sami Hazan

M. Sc. Jorge Nemésio Sousa

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

NOVEMBRO DE 2012

*Dedico este trabalho aos meus pais, que em
meio a tantos sacrifícios, se preocuparam
em me criar com dignidade e amor:
Eliaquim (in memoriam) e Iolanda.*

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar a Deus, pelo dom da vida e pela ajuda em todos os momentos, me levantando e me erguendo quando eu achava que não seria mais capaz.

Agradeço muito ao professor Jorge Luiz Nascimento, pela orientação, apoio e incentivo nesta reta final da minha graduação.

Ao meu grande amor, parceiro, confidente e paciente, Cristiano, pelo esforço e carinho em tentar me ajudar até quando eu me recusava a aceitar.

A todos os meus sete queridos irmãos: Cristiano, Fábio, Roberta, Sabrina, Roberto Paulo, Eliaquim e Renan, cada um com uma contribuição especial que jamais esquecerei.

As minhas adoradas amigas Camila e Natália, companheiras de tantas madrugadas na internet e no telefone, quando estudávamos e nos descabelávamos.

A todos os meus colegas de trabalho da UPPER, que me consolavam e ouviam, durante toda a faculdade.

A todo o corpo docente da Engenharia Elétrica da Escola Politécnica da UFRJ, que contribuíram positivamente para o meu amadurecimento acadêmico e profissional.

Finalmente, agradeço aos meus pais. Sem vocês, este capítulo da minha vida jamais teria sido escrito.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica – UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DO ESTADO DA ARTE DA ILUMINAÇÃO A LED.

Simaia Roberta Nascimento

Novembro de 2012

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento

O mercado da iluminação está prestes a passar por uma revolução no que se refere à forma de emissão da luz elétrica, o que abrirá um leque de novas aplicações e novas formas de iluminação de ambientes e objetos.

O principal ingrediente desta revolução é o LED (*Light Emitting Diode*, ou Diodo Emissor de Luz), que permite a criação de lâmpadas com alta eficiência energética, entre outras vantagens, que serão analisadas neste trabalho.

Tecnicamente esta nova tecnologia é muito bem vista, pois no atual cenário energético mundial é fundamental a busca por soluções energéticas eficientes e limpas, o que combina perfeitamente com o LED. Entretanto, há ainda algumas barreiras, principalmente comerciais, para o crescimento desta tecnologia no cotidiano da sociedade, como o elevado custo e ajustes técnicos na qualidade da luz emitida.

Foram realizadas comparações entre alguns tipos de lâmpadas de LED e suas concorrentes para avaliar os benefícios da inserção desta tecnologia nos projetos de iluminação.

A fim de evidenciar o crescimento do LED no mercado da iluminação nos próximos anos, foram realizados estudos de caso para a aplicação de LED em diversas aplicações.

Graduation Project abstract submitted to the Department of Electrical Engineering at Ecole Polytechnique - UFRJ as part of the requirements for the degree of Electrical Engineer.

TECHNICAL AND ECONOMIC EVALUATION OF THE STATE OF THE ART LIGHTING LED.

Simaia Roberta Nascimento

2012 November

Adviser: Jorge Luiz do Nascimento

The lighting market is about to going through a revolution with regard to the form of issuance of the electric light, which opens a range of new applications and new ways of lighting environments and objects.

The main ingredient of this revolution is the LED (Light Emitting Diode), which allows the creation of energy-efficient light bulbs, among other benefits, which will be analyzed in this work.

Technically this new technology is very well accepted because in current world energy scene is crucial to search for clean and efficient energy solutions, which matches perfectly with the LED. However, there are still some barriers, mainly commercial, for growth this technology in day-by-day society, such as the high cost and technical adjustments in the quality of light emitted.

Comparisons were made between some types of LED lamps and their competitors to evaluate the benefits of the integration of this technology in lighting projects.

In order to highlight the growth of LED in the lighting market over the coming years, case studies were performed for the application of LED in general.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1.1 - LUCERNA DE PEDRA CALCÁREA	1
FIGURA 2.1 - MODELO DO ÁTOMO COM NÚMERO DE ELÉTRONS POR CAMADA	5
FIGURA 2.2 - LIGAÇÃO COVALENTE NA REDE CRISTALINA DE SILÍCIO	5
FIGURA 2.3 – JUNÇÃO P-N	7
FIGURA 2.4 – REPRESENTAÇÃO DO INTERIOR DA CAMADA DE DEPLEÇÃO.....	7
FIGURA 2.5 - POLARIZAÇÃO DIRETA.....	8
FIGURA 2.6–TIPOS DE LED.....	9
FIGURA 2.7 - EVOLUÇÃO DO LED	11
FIGURA 2.8 – ESQUEMA DE EMISSÃO DE LUZ NO LED.....	12
FIGURA 2.9 – REPRESENTAÇÃO DO LED INDICADOR TRADICIONAL	13
FIGURA 2.10 – LED DE POTÊNCIA LUXEON LUMILEDS	13
FIGURA 3.1 - CURVA DA EFICÁCIA LUMINOSA ESPECTRAL	17
FIGURA 3.2 - - FLUXO LUMINOSO	18
FIGURA 3.3 - CURVA DA DISTRIBUIÇÃO LUMINOSA DA LÂMPADA HALÓGENA MODELO PAR38 DA PHILIPS...	18
FIGURA 3.4 – ILUMINÂNCIA	19
FIGURA 3.5 – LUMINÂNCIA [8].....	20
FIGURA 3.6 – ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO [1]	21
FIGURA 3.7 - ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE COR E EXEMPLOS DE APLICAÇÃO	22
FIGURA 3.8 - RELAÇÃO ENTRECOR E TEMPERATURA DE LUZ	22
FIGURA 3.9 – COMPOSIÇÃO DA LÂMPADA INCANDESCENTE.....	24
FIGURA 3.10 - ESQUEMA INTERNO DA LAMPADA FLUORESCENTE TUBULAR.....	26
FIGURA 3.11 - LÂMPADA FLUORESCENTE COMPACTA	28
FIGURA 3.12 - COMPOSIÇÃO BÁSICA DA LÂMPADA DE VAPOR DE SÓDIO DE ALTA PRESSÃO	29
FIGURA 3.13 - ESQUEMA DO CIRCUITO DE ACIONAMENTO DA LÂMPADA [15].....	30
FIGURA 4.1 – FOTO DA ESQUERDA COM ILUMINAÇÃO À BASE DE QUEIMADORES A GÁS E A DA DIREITA COM LÂMPADAS DE ARCO VOLTAICO, NA AVENIDA CENTRAL (ATUAL AV RIO BRANCO) NO RIO DE JANEIRO.....	33
FIGURA 4.2 - A PRIMEIRA FOTO EXIBE O INÍCIO DA CONSTRUÇÃO DA BARRAGEM E A SEGUNDA MOSTRA A CASA DE FORÇA DA USINA DE MARMELOS-ZERO.....	34
FIGURA 4.3 - LÂMPADA DE ARCO VOLTAICO DO TIPO JABLOCHKOFF.....	37
FIGURA 4.4 - APATENTE EA LÂMPADA DE THOMAS EDISON	38
FIGURA 4.5 - ESQUEMA DA LAMPADA DE VAPOR DE MERCÚRIO DE BAIXA PRESSÃO.	39
FIGURA 4.6 – ESQUEMA DA LAMPADA HALÓGENA MODERNA	41
FIGURA 4.7 - MODELOS DE LÂMPADAS HALÓGENAS DA PHILIPS.....	42
FIGURA 4.8 - REPRESENTAÇÃO DO LED VERMELHO	42

FIGURA 4.9 - LÂMPADAS DE VAPOR DE SÓDIO DE ALTA PRESSÃO PHILIPS.....	43
FIGURA 4.10 – ESQUEMA DA LÂMPADA MISTA.....	44
FIGURA 4.11 – LÂMPADA FLUORESCENTE COMPACTA	44
FIGURA 4.12 - AVALIAÇÃO DO MERCADO DE ILUMINAÇÃO	48
FIGURA 4.13 - PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO OLED [23].....	52
FIGURA 4.14 - EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DO OLED.....	53
FIGURA 5.1 - MODELOS DAS LÂMPADAS DO GRUPO 1	56
FIGURA 5.2 - MODELOS DAS LÂMPADAS DO GRUPO 2	57
FIGURA 5.3 - MODELOS DAS LÂMPADAS DO GRUPO 3	57
FIGURA 5.4 - MODELOS DAS LÂMPADAS DO GRUPO 4	58
FIGURA 5.5 - PARATHOM CLASSIC A (OSRAM) E MASTER LEDBULB (PHILIPS)	63
FIGURA 5.6 – SOLUÇÃO LED DA OSRAM (E) E PHILIPS	64
FIGURA 5.7 - LUMINÁRIA LUX SPACE SUA APLICAÇÃO EM UMA SALA DE RESSONÂNCIA MAGNÉTICA	65
FIGURA 5.8–COLORREACH POWERCORE	66
FIGURA 5.9 – DAY WAVE	66
FIGURA 6.1 – FLUXOGRAMA DOS ESTUDOS DE CASO	67
FIGURA 6.2 - PLANTA BAIXA RESIDENCIAL.....	69
FIGURA 6.3 - LUMINÁRIA PAFLON FIXO (E) E SPOT ECONOMIC (D).....	71
FIGURA 6.4 - TIPOS DE LÂMPADA PARA USO RESIDENCIAL.....	71
FIGURA 6.5 - ALTERNATIVAS ILUMINAÇÃO ESCRITÓRIOS E SALAS DE AULA	85
FIGURA 6.6 - AS ALTERNATIVAS PARA ILUMINAÇÃO GERAL INDUSTRIAL	89
FIGURA 6.7 - SOLUÇÕES PARA O BANCO [16].....	93
FIGURA 6.8 – REPRESENTAÇÃO DA VIA PÚBLICA.....	97
FIGURA 6.9 - SOLUÇÕES PARA A ILUMINAÇÃO PÚBLICA [16].....	98

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 - CARACTERÍSTICAS DOS LEDS COM RELAÇÃO À COR DE LUZ EMITIDA.....	14
TABELA 3.1 - NÍVEIS DE ILUMINÂNCIA ESTABELECIDOS PELA NBR-5413.....	20
TABELA 5.1 - COMPARAÇÃO ENTRE LAMPADAS DO GRUPO 1	56
TABELA 5.2 - COMPARAÇÃO ENTRE LÂMPADAS DO GRUPO 2	57
TABELA 5.3 - COMPARAÇÃO ENTRE LÂMPADAS DO GRUPO 3	57
TABELA 5.4 - COMPARAÇÃO ENTRE LÂMPADAS DO GRUPO 3	58
TABELA 6.1 – ÁREA POR AMBIENTES	70
TABELA 6.2 - CARACTERÍSTICAS DAS LÂMPADAS PARA USO RESIDENCIAL	71
TABELA 6.3 - AVALIAÇÃO SALA DE ESTAR	75
TABELA 6.4 - AVALIAÇÃO QUARTO	76
TABELA 6.5 - AVALIAÇÃO COZINHA.....	77
TABELA 6.6 - AVALIAÇÃO CORREDOR	78
TABELA 6.7 - AVALIAÇÃO BANHEIRO	80
TABELA 6.8 - AVALIAÇÃO VARANDAS	81
TABELA 6.9 – ANÁLISE SOLUÇÃO RESIDENCIAL.....	83
TABELA 6.10 – ANÁLISE ILUMINAÇÃO ESCRITORIOS E SALAS DE AULA.....	87
TABELA 6.11- AVALIAÇÃO GALPÃO INDUSTRIAL.....	91
TABELA 6.12- AVALIAÇÃO AGÊNCIA BANCÁRIA	95
TABELA 6.13- VALORES DE ILUMINÂNCIA PARA A ILUM. PÚBLICA.....	98
TABELA 6.14- AVALIAÇÃO ILUMINAÇÃO PÚBLICA	100

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 3.1 – COMPARAÇÃO DA EFICIENCIA ENERGÉTICA COM LÂMPADAS OSRAM [.....	23
GRÁFICO 3.2 - COMPARAÇÃO CONSUMO E EMISSÃO DE CO ₂ INCANDESCENTES X FLC DA OSRAM.....	29
GRÁFICO 4.1 - CRESCIMENTO DA CAPACIDADE INSTALADA NO BRASIL.....	35
GRÁFICO 4.2 - O DESENVOLVIMENTO DAS LÂMPADAS ELÉTRICAS	45
GRÁFICO 4.3 – PARTICIPAÇÃO DOS TIPOS DE LÂMPADAS DE LED EM 2011	49
GRÁFICO 4.4 - MERCADO DA ILUMINAÇÃO LED POR TIPO EM 2011.....	50
GRÁFICO 4.5–PREVISÃO DE CRESCIMENTO DOS MERCADOS DE ILUMINAÇÃO LED	51
GRÁFICO 5.1 - COMPRIMENTO DE ONDA VAPOR DE SÓDIO DE ALTA PRESSÃO E LED DE ALTO BRILHO	60
GRÁFICO 5.2 – COMPARAÇÃO DA VIDA ÚTIL DAS LÂMPADAS DO GRUPO1	61
GRÁFICO 5.3 - COMPARAÇÃO DA VIDA ÚTIL DAS LÂMPADAS DO GRUPO2	61
GRÁFICO 5.4 - COMPARAÇÃO DA VIDA ÚTIL DAS LÂMPADAS DO GRUPO 3	61

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2.....	4
ILUMINAÇÃO UTILIZANDO SEMICONDUTORES	4
2.1 Entendendo o Semicondutor	4
CAPÍTULO 3.....	16
OS PRINCIPAIS CONCORRENTES DAS LÂMPADAS DE LED	16
3.1 Um Pouco de Luminotécnica	17
3.2 As Lâmpadas Incandescentes	23
3.3 As Lâmpadas Fluorescentes.....	25
3.4 As Lâmpadas Fluorescentes Compactas (LFC)	27
3.5 As Lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão	29
CAPÍTULO 4.....	32
O MERCADO DA ILUMINAÇÃO	32
4.1 A Chegada da Energia Elétrica no Brasil	32
4.2 O Desenvolvimento do Mercado da Iluminação	36
4.3 O Futuro do Mercado da Iluminação no Século XXI.....	46
4.3.1 OLED – Diodo Orgânico Emissor de Luz [23].....	51
4.3.2 COLED – Diodo Orgânico Emissor de Luz com Cavidade [25].....	54
CAPÍTULO 5.....	55
A SUSTENTABILIDADE TÉCNICA E AMBIENTAL DO LED	55
5.1 Eficiência Energética	55
5.2 A Qualidade da Luz.....	59
5.3 Manutenção/Reposição.....	60
5.4 O Descarte das Lâmpadas.....	62
5.5 As Principais Soluções com LED.....	63
CAPÍTULO 6.....	67

ESTUDOS DE CASOS.....	67
6.1 Premissas Adotadas para os Cálculos	68
6.2 Iluminação Geral para Residências	69
6.3 Iluminação Geral para Escritórios e Salas de Aula	84
6.4 Iluminação Geral para um Galpão Industrial	88
6.5 Iluminação para Agências Bancárias.....	92
6.6 Iluminação Pública	96
CAPÍTULO 7.....	102
CONCLUSÃO	102
BIBLIOGRAFIA.....	105
APENDICE A	108

INTRODUÇÃO

Ainda nos primórdios da humanidade o homem sentiu necessidade de uma iluminação complementar à da luz do sol, fosse para se proteger dos animais selvagens à noite ou para executar tarefas que até então só podiam ser realizadas durante o dia. A partir do momento que o Homem teve domínio sobre a criação do fogo, há aproximadamente 500 mil anos atrás, a iluminação artificial faz parte da vida humana.

Com a utilização do fogo, surgiu a necessidade de manter a chama do fogo acesa, e pode-se dizer que também surgiu o primeiro tipo de luminária. Esta luminária extremamente rudimentar foi chamada de lucerna, e era utilizada para armazenar o combustível utilizado para manter a chama acesa e transportá-la. Um modelo de lucerna muito antigo, com aproximadamente 20 mil anos de existência, foi encontrado na França e é a lucerna mais antiga que se tem registro. A Figura 1.1 exibe a imagem de uma lucerna mais recente, localizada em uma mina inglesa. Estima-se que ela era usada há 10.000 anos.



FIGURA 1.1 - LUCERNA DE PEDRA CALCÁREA

Fonte: Portal Altenas Plus [4]

A partir dessa invenção, a história da humanidade ganhou novos contornos. Até a descoberta da iluminação artificial, o homem dependia exclusivamente da luz solar para executar suas atividades. Com esta descoberta, as atividades desenvolvidas pelo Homem primitivo não tinham mais restrição de horário e com isso o desenvolvimento da sociedade acelerou.

Alguns milhares de anos ainda se passaram até a descoberta da primeira lâmpada elétrica comercializável, em 1879 por Tomas Edison. Ela ficou acesa por 48 horas seguidas e foi um marco, pois se estima que 21 cientistas já tivessem tentado o feito sem o mesmo sucesso.

Por aproximadamente um século, a lâmpada incandescente reinou no mercado sendo preferida principalmente em utilizações residenciais, e em uso específico para alguns setores industriais e comerciais.

Com o crescimento populacional, e a constante ameaça de escassez do petróleo, principal fonte de energia mundial, ênfase especial foi dada ao desenvolvimento de tecnologias mais eficientes. A principal substituta da lâmpada incandescente começou a ganhar o mercado brasileiro em meados do ano 2000, a partir do período de racionalização energética imposto pelo governo. Esta substituta é a lâmpada fluorescente compacta.

Nos tempos atuais, persiste a idéia de eficiência energética, já que o mercado agora não atende só as necessidades básicas, mas sim ao conforto, à praticidade, a produção de bens, entre outros. A grande ênfase atual está no desenvolvimento de tecnologias limpas, ou pelo menos sustentáveis, que não agredam permanentemente o meio ambiente e não prejudiquem as gerações futuras. Dentro deste contexto, a conservação de energia é uma das formas de se preservar o meio ambiente.

O mercado de iluminação passa por uma mudança de tecnologia, similar àquela que aconteceu quando surgiu a lâmpada fluorescente. Entretanto, há razões para acreditar que esta transformação no mercado será mais rápida e também de dimensões muito maiores. A grande novidade é o LED (*Light Emitting Diode*), o diodo emissor de luz, que vem conquistando o seu espaço, devido principalmente à sua enorme durabilidade e eficiência energética, entre outras vantagens, que serão detalhadas ao longo deste trabalho. E como o projetista de iluminação Alexandre Góis [3] disse: *“O mundo esta mudando e é imprescindível mudar”*.

A motivação para a realização deste trabalho começou enquanto eu cursava a disciplina de Técnicas de Iluminação, com o professor Jorge Luiz. Nesta ocasião, tive a oportunidade de desenvolver um trabalho curto sobre o que é o LED e suas principais vantagens e desvantagens. O assunto me deixou interessada, e com a orientação do professor Jorge, fui desenvolvendo minhas primeiras pesquisas sobre aplicações do LED na iluminação.

A proposta do trabalho é realizar um estudo comparativo entre iluminação geral com LED e as tecnologias de iluminação tradicionais aplicadas a diversos setores, analisando eficiência energética, qualidade da luz emitida e viabilidade econômica do projeto.

Este trabalho é dividido em sete capítulos, sendo este o primeiro deles.

Ao longo dos Capítulos 2, 3, 4 e 5 foi realizada uma revisão bibliográfica, da seguinte forma: no segundo capítulo o tema abordado é a evolução do LED, desde a descoberta do fenômeno da luminescência até o desenvolvimento de chips de LED capazes de emitir luz branca. No Capítulo 3, após uma breve apresentação de importantes conceitos e grandezas da luminotécnica, vamos conhecer um pouco mais sobre os tipos de lâmpadas ameaçadas pelo desenvolvimento das lâmpadas LED. Uma análise do mercado da iluminação, no que diz respeito às lâmpadas, desde a lâmpada de Thomas Edison até os possíveis sucessores da lâmpada LED será apresentada no Capítulo 4. No Capítulo 5 veremos as principais características do funcionamento do LED, mostrando porque ele é a solução mais sustentável¹ do mercado, no momento.

Por fim, no Capítulo 6, temos estudos de casos, envolvendo uma comparação da iluminação com LED e seus concorrentes em aplicações de uso geral e iluminação pública. O Capítulo 7 é destinado às conclusões finais do trabalho.

¹ A definição de sustentabilidade se consolidou durante o evento ECO-92, sediado no Rio de Janeiro. Por desenvolvimento sustentável, entende-se o desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das futuras gerações de atenderem às suas próprias necessidades. Fonte: Wikipédia [41].

ILUMINAÇÃO UTILIZANDO SEMICONDUTORES

Como o próprio nome diz semicondutor significa quase condutor. Este tipo de material encontra-se em um estado intermediário entre os condutores de energia elétrica (cobre, ouro, alumínio etc.) e os materiais isolantes (borracha, vidro etc.). Para que um material seja um bom condutor de eletricidade, ele deve ter muitos elétrons livres, já que a energia elétrica é justamente o movimento ordenado dos elétrons. Neste capítulo será mostrado como um semicondutor pode se tornar um bom condutor de energia elétrica além de apresentar o princípio básico de funcionamento do LED, um semicondutor especial que tem a propriedade de transformar energia elétrica em energia luminosa; sua evolução tecnológica e suas principais características elétricas e construtivas.

2.1 Entendendo o Semicondutor²

Para compreender melhor como a corrente elétrica se comporta no material semicondutor, é preciso conhecer a estrutura atômica deste material. Observe o modelo do átomo, na Figura 2.1. Os elétrons ficam dispostos em órbitas ao redor do núcleo. Essas órbitas têm números máximos de elétrons, determinados pela combinação, de um lado, da força de atração do núcleo e, do outro, da força centrífuga causada pela rotação do elétron. Caso a última camada de elétrons do átomo não seja totalmente preenchida, podem ocorrer duas situações:

Situação 1: Ele pode ‘perder’ os elétrons de sua última camada para outro átomo;

Situação 2: Ele pode ‘capturar’ os elétrons de outro átomo para preencher sua última camada.

² Quando não estiver referenciado, este item baseia-se em pesquisa do artigo “O que é o transistor?”, de Agostinho Silva Rosa [5].

Uma vez que os elétrons da última camada estão mais afastados do núcleo, a força de atração exercida pelo núcleo é menor facilitando a fuga do elétron de um átomo para outro. Uma pequena energia é capaz de arrancá-los de suas órbitas. Estando livres, esses elétrons determinam a facilidade de condução de um elemento: quanto menor a energia necessária para arrancar os elétrons de um átomo e, portanto, quanto mais elétrons livres, maior a capacidade de condução de um elemento. Esta ligação entre os elétrons é chamada de ligação iônica.

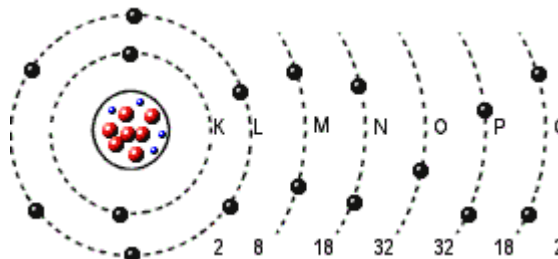


FIGURA 2.1 - MODELO DO ÁTOMO COM NÚMERO DE ELÉTRONS POR CAMADA
Fonte: O Que é Transistor? [5]

Há ainda uma situação comum, que é o compartilhamento: ao invés de roubar o elétron de outros átomos, dois átomos compartilham seus elétrons, utilizando-os para preencher sua última camada. Esse compartilhamento é chamado de ligação covalente, representada na Figura 2.2. Este é o tipo de ligação presente nos materiais semicondutores.

Um semicondutor comum é o silício. O silício possui quatro elétrons em sua última camada, também chamada de camada de valência, sendo por isto chamado de tetravalente. Desta forma, cada átomo de silício pode estabelecer até quatro ligações covalentes com outros átomos. Unindo-se entre si desta forma, os átomos de silício formam uma rede cristalina cúbica, semelhante à do diamante, muito estável. O cristal de silício assim formado tem cor cinza escuro, lustrosa.

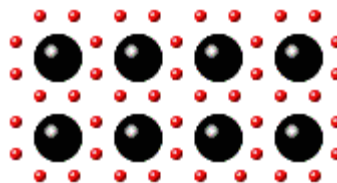


FIGURA 2.2 - LIGAÇÃO COVALENTE NA REDE CRISTALINA DE SILÍCIO
Fonte: O Que é Transistor? [5]

A condução elétrica neste tipo de material ocorre pela movimentação das lacunas, que pode ser explicada como se segue.

O elétron tem carga elétrica negativa. Supondo que um elétron escape do seu átomo, este átomo se torna um íon carregado positivamente, e ele possui uma lacuna, onde cabe mais um elétron para restabelecer sua neutralidade. Esta lacuna tende a atrair outro elétron, que deixa uma lacuna na sua origem. A ocorrência constante deste movimento provoca o surgimento da corrente elétrica. Por convenção, estabeleceu-se que a condução elétrica se dá pela movimentação das lacunas. Este movimento das lacunas ocorre também nos materiais condutores, mas como existem muitos elétrons livres naqueles materiais, o movimento das lacunas é insignificante.

Em um semicondutor, entretanto, este movimento é muito importante, pois para cada átomo que se liberta, há uma lacuna correspondente. Há ainda uma consideração a ser feita: o movimento das lacunas nos semicondutores ocorre normalmente em pequena escala, pela ação do calor. Existe uma técnica chamada dopagem que aumenta esta ocorrência. Dopar um cristal significa introduzir um elemento estranho, também conhecido como dopante. Este dopante é um elemento trivalente ou pentavalente. No primeiro caso, o dopante conseguirá estabelecer apenas três ligações com os outros átomos do silício, fazendo com que ‘sobre’ uma lacuna. Assim, o cristal ficará com mais lacunas do que elétrons, ou seja, carregado positivamente. Este tipo de cristal recebe a denominação P (de positivo). No segundo caso, o dopante fará quatro ligações com os átomos de silício e ficará com um elétron ‘sobrando’. Nesta situação o cristal recebe a denominação N (de negativo).

Os elementos trivalentes (três átomos na última órbita) mais utilizados na construção de cristais P são o alumínio, o boro e o gálio.

Os elementos pentavalentes (cinco átomos na última órbita) mais utilizados na construção de cristais N são o arsênio, o antimônio e o fósforo.

Normalmente, a dopagem consiste na introdução de um átomo do elemento dopante para cada 100.000 átomos de silício.

2.2 Funcionamento do Diodo

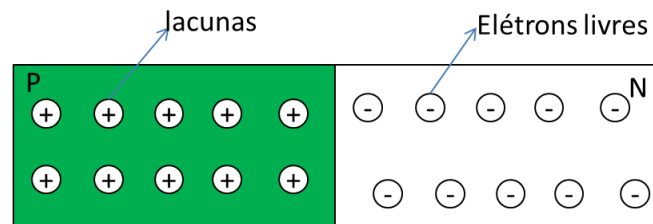


FIGURA 2.3 – JUNCTÃO P-N

Fonte: A autora

A junção dos cristais P e N forma o componente eletrônico diodo, conforme mostra a Figura 2.3. A característica básica do diodo é permitir a condução da corrente elétrica em apenas um sentido. No ponto onde os dois cristais se juntam, tende a haver uma migração de elétrons e lacunas até que se estabeleça um equilíbrio. A região em torno desta junção fica então equilibrada. Esta região é chamada camada de depleção (Figura 2.4) e impede que ocorra um equilíbrio completo entre os cristais P e N, porque os elétrons do cristal N não encontram mais lacunas para chegar até o cristal P, que por sua vez fica com lacunas. Este fenômeno de ocupação das lacunas é conhecido como recombinação.

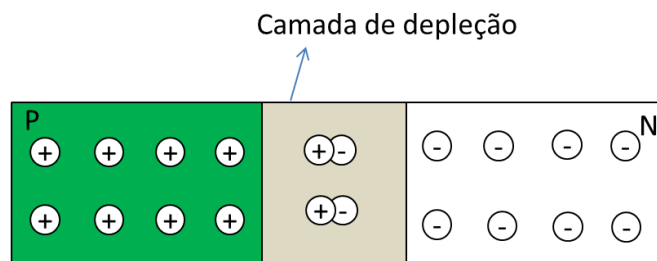


FIGURA 2.4 – REPRESENTAÇÃO DO INTERIOR DA CAMADA DE DEPLEÇÃO

Fonte: A autora

A camada de depleção forma uma barreira com potencial aproximado de 0,7 V. Para promover a passagem de corrente elétrica, é necessário alimentar este diodo com uma bateria em seus terminais, com tensão superior a 0,7 V. O lado negativo da bateria é conectado à porção N e o lado positivo à porção P. Nesta situação, diz-se que o diodo está polarizado diretamente. A região N, com excesso de elétrons, recebe ainda mais elétrons, e a porção P recebe ainda mais lacunas. Assim os elétrons do lado N ganham força suficiente para expulsar os elétrons da região de depleção e ir para a porção P. Como o lado positivo da

bateria está conectada nesta porção, os elétrons continuam pulando de lacuna em lacuna atraídos pela bateria e assim ocorre a passagem de corrente no diodo, que tem comportamento semelhante à de um material condutor, mas apenas quando polarizado diretamente. Este tipo de condução elétrica está representado na Figura 2.5.

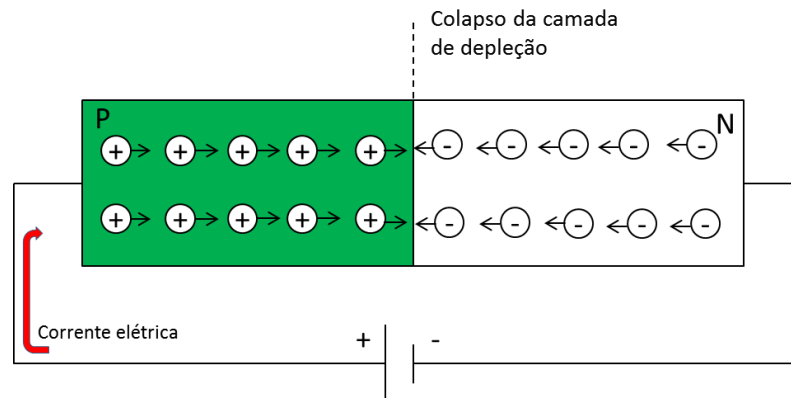


FIGURA 2.5 - POLARIZAÇÃO DIRETA

Fonte: A autora

2.3 O Diodo Emissor de Luz – LED

O LED é um componente eletrônico formado por semicondutor. Ao ser atravessado por uma corrente elétrica, ocorre uma transformação de energia diferente daquela que ocorre nas lâmpadas convencionais, como as lâmpadas incandescentes e fluorescentes, que utilizam filamento metálico e descarga de gases, respectivamente. Como no LED a transformação de energia ocorre no material, ela é conhecida como transformação de estado sólido.

Assim como nos diodos tradicionais, o LED só permite a passagem de corrente elétrica em um sentido. Esta polarização direta possibilita a emissão de luz. Os tipos de LED podem ser classificados conforme a sua aplicação (Figura 2.6).

LED indicativos – utilizados como sinalizadores em equipamentos elétricos e eletrônicos, informando o *status* de determinadas funções destes equipamentos;

LED de alto brilho – utilizados principalmente em semáforos, lanternas, painéis de automóveis.

LED de potência – são os tipos de LED de alto brilho com maior intensidade luminosa, podendo ser empregados em iluminação de emergência, iluminação de vias públicas e iluminação decorativa.



FIGURA 2.6–TIPOS DE LED

Fonte: Pesquisa de imagens Google. Acesso em 10/10/12.

Esta classificação do LED representa o avanço desta tecnologia, e sugere também a classificação dos tipos de LED que emitem luz colorida e luz branca.

Aqueles de luz colorida são resultantes da combinação entre as cores vermelho, verde e azul (RGB – *Red, Green, Blue*), que podem originar 16 milhões de cores diferentes.

Os tipos de LED que emitem luz branca são obtidos através de um LED azul coberto com uma camada de fósforo.

2.4 A Evolução do LED

Há pouco mais de 100 anos foi registrado oficialmente a descoberta dos LEDs, em um artigo publicado no mês de fevereiro de 1907 pela revista *Electrical World*, do pesquisador inglês Henry Joseph Round. Round observou pela primeira vez o fenômeno da eletroluminescência artificial em uma experiência com carboneto de silício (SiC), que produziu um tênue luz amarelada ao ser atravessado por uma corrente elétrica. Essa descoberta incentivou cientistas do mundo inteiro, que nos anos seguintes realizaram experiências com diversos outros materiais eletroluminescentes. Destaque especial pode ser dado para George Destriau, que em 1936, em Paris, descobriu a eletroluminescência no Sulfeto de Zinco (ZnS) em pó. [24]

Entretanto, foi só a partir da década de 60 que importantes experiências com semicondutores formados por ligas à base de fósforo, arsênio e Gálio - Arsenieto fosfeto de gálio (GaAsP) – resultaram no descobrimento do primeiro LED comercial. Este LED primitivo foi utilizado como lâmpada indicadora em aparelhos elétricos e eletrônicos em geral. A empresa que recebeu a patente para o LED infravermelho foi a *Texas Instruments*,

em 1961, mas a primeira empresa a comercializar o produto foi a *General Electric* (GE), em 1962. Devido a isso, o título de ‘pai do LED’ coube ao cientista Nick Holoniak Jr. da GE. Neste período, o custo do LED infravermelho, com intensidade luminosa de apenas 1 milicandela³ chegou a atingir a cifra de US\$200,00[6].

Em meados dos anos 70 surgiram os chips de LED de outras cores. Os LEDs à base de Fosfeto de Gálio (GaP) produziram uma luz vermelho-alaranjada e verde pálida. A combinação de dois cristais de GaP resultou em um LED que emitia luz amarela. A intensidade luminosa destes LEDs também já estava atingindo algumas dezenas de milicandelas, e então com a maior possibilidade de aproveitamento desta nova fonte de energia, a demanda pelo produto aumentou e como resultado, os preços desta tecnologia sofreram forte redução. A esta altura, empresas como a *Hewlett Packard* (HP) já estavam utilizando esta tecnologia na fabricação de suas calculadoras portáteis. Os preços do LED ao longo desta década alcançaram valores inferiores a US\$0,05 cada, produzidos pela *Fairchild Semiconductor* (EUA), graças à utilização do método planar⁴[6].

A introdução de materiais compostos por ligas de fósforo, arsênio, alumínio e Gálio, nos anos 80, garantiram maior eficiência e aumento da intensidade luminosa aos LEDs, que passaram a ser usados em sinalizadores e outdoors, além de começarem a substituir as lâmpadas empregadas na indústria automobilística. Os níveis de iluminação destes LEDs eram até 10 vezes superiores aos primeiros LEDs.

Considera-se o início da segunda geração de LEDs na década de 90, com a tecnologia conhecida como Al In GaP (Alumínio, Índio e Fosfeto de Gálio), que produzia radiações com comprimentos de onda referentes às cores vermelho-alaranjado, laranja, amarelo e verde. Além disso, surgiram também os primeiros LEDs de luz azul de alto brilho, que requeria material à base de Carboneto de Silício (SiC). Esta importante descoberta, foi realizada pelo cientista Shuji Nakamura, da *NICHIA Chemical Corporation*, na Alemanha [24]. Este LED azul foi o predecessor do LED de luz branca, que o utilizava combinado com uma camada de fósforo para converter a luz azul em branca. No final desta década, já

³ Candela é a unidade de intensidade luminosa. Esta grandeza é abordada no Capítulo 3.

⁴Método planar – método de fabricação que possibilitou a fabricação em larga escala de dispositivos eletrônicos.

existiam LEDs que cobriam todo o espectro de cores e emitiam um fecho luminoso de até 40 lúmens⁵, com ângulo de abertura de até 110°.

O cenário mundial, principalmente a partir do ano 2000, começa a encarar com mais seriedade a ameaça de um futuro com escassez dos mais básicos recursos naturais, como água e combustível, e as pesquisas por tecnologias que garantam um mundo mais sustentável ganham importantes investimentos pelas principais potências mundiais. O mercado apresenta LEDs com fecho luminoso em média de 120 lúmens e potência de até 5,0 W, disponíveis em várias cores e então ocorre um aceleração do processo de substituição de lâmpadas para alguns tipos de aplicação. A Figura 2.7 ilustra o desenvolvimento do LED.

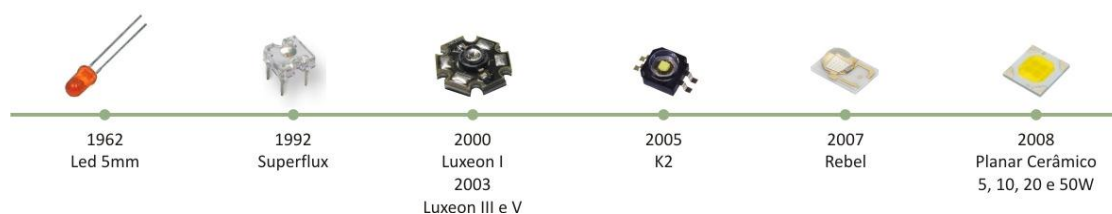


FIGURA 2.7 - EVOLUÇÃO DO LED
Fonte: LEDs na Iluminação Arquitetural [3]

Novos importantes mercados adotam e investem no LED, como os dos produtos pertencentes aos sistemas de controle de tráfego (semáforos) e à iluminação arquitetônica. Esta última, aliás, vem recebendo grande contribuição com a inserção de novas tecnologias, que possibilitam a construção de equipamentos sofisticados capazes de direcionar o fecho luminoso, controlar a cor e a intensidade da luz emitida. O preço dos LEDs destinados a esta aplicação ainda são elevados para atingir o grande público, mas ainda assim já são mais econômicos em longo prazo do que as atuais lâmpadas fluorescentes.

2.5 Princípio de Funcionamento do LED

A passagem de corrente elétrica no LED ocorre como em qualquer diodo de junção P-N polarizado diretamente. O grande diferencial do LED com relação ao diodo é a emissão

⁵ A unidade de fluxo luminoso é o lúmen. Esta grandeza é abordada no Capítulo 3.

de luz visível. Como já dito anteriormente, a transformação de energia elétrica em energia luminosa no LED ocorre de forma distinta das lâmpadas incandescentes e fluorescentes. A transformação de energia em estado sólido pode ser entendida pelo fenômeno de luminescência.

Quando um elétron passa de um nível energético excitado para outro de menor energia, ocorre a liberação de energia. No caso do LED, esta excitação se dá pela passagem de corrente elétrica no material (eletroluminescência). Quando a junção P-N é diretamente polarizada, os elétrons do material tipo N preenchem as lacunas do material tipo P (recombinação). Cada recombinação libera uma energia. O valor desta energia é igual à diferença de energia entre os dois níveis (P e N). É a composição do material semiconductor empregado que será determinante para o tipo de energia liberada. Por exemplo, se o semiconductor for composto por silício ou germânio, esta energia liberada se manifestará em vibrações da rede cristalina. Agora se o semiconductor for um arsenieto de gálio (GaAs), a energia se manifestará na emissão de um fóton de energia. Logo a quantidade de luz emitida vai depender do número de recombinações. Quando se tem um semiconductor com dopagem suficientemente alta e a corrente é suficientemente intensa, o número de recombinações tende a ser maior resultando em uma alta intensidade luminosa. O esquema de emissão de luz no LED está ilustrado na Figura 2.8.

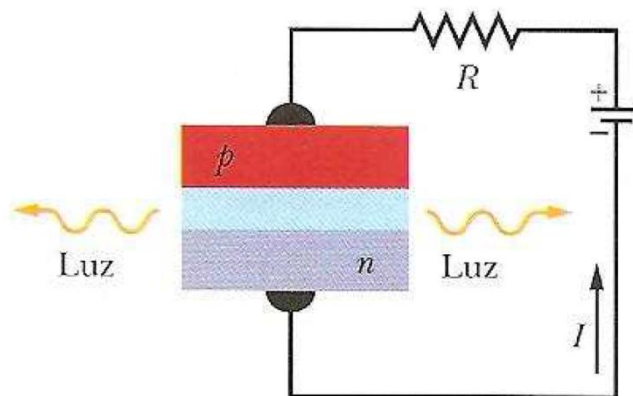


FIGURA 2.8 – ESQUEMA DE EMISSÃO DE LUZ NO LED

Fonte: Fundamentos da Física [2]

2.6 Características Construtivas

A luz do LED é gerada dentro de um chip, um material de cristal sólido. O chip gerador de luz é pequeno, em média ocupa uma área de 0,25 mm². Para controlar e direcionar o fecho de luz, ou ainda para funcionar como um filtro ótico e aumentar o contraste quando a luz é colorida, o LED possui uma lente de encapsulamento em epóxi. Os LEDs indicadores são estruturas mais simples, já que não são ligados diretamente na alimentação elétrica, mas em uma placa eletrônica. Nos LEDs de potência, há ainda outros elementos de acionamento e controle. As Figuras 2.8 e 2.9 mostram as formas construtivas do LED indicador e do LED de potência, respectivamente.

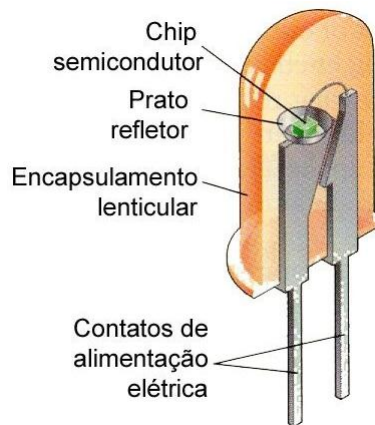


FIGURA 2.9 – REPRESENTAÇÃO DO LED INDICADOR TRADICIONAL

Fonte: Blog TecnoBond [7]

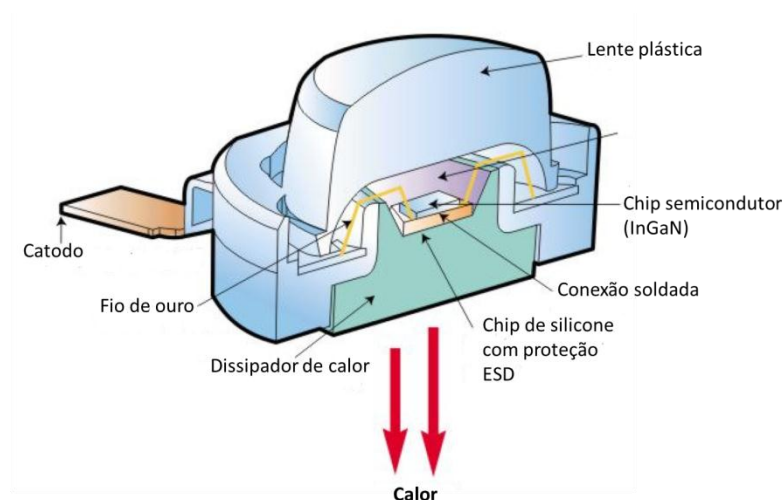


FIGURA 2.10 – LED DE POTÊNCIA LUXEON LUMILEDS

Fonte: LEDs na Iluminação Arquitetural [3]

Cada cor possui um comprimento de onda, da ordem de nanômetros (10^{-9} m). Como a emissão dos fótons está associada à energia liberada nas recombinações dentro do LED, os elementos que formam o LED vão definir a cor da luz irradiada. Existe um limite de tensão para garantir a qualidade da cor. Na tabela abaixo, estão representados o material semiconductor associado à cor da luz emitida.

TABELA 2.1 - CARACTERISTICAS DOS LEDS COM RELAÇÃO À COR DE LUZ EMITIDA
 Fonte: LEDs na Iluminação Arquitetural (Adaptação da autora) [3]

Cor	Comprimento de onda (nm)	Tensão (V)	Material Semiconductor
Infravermelho	$\lambda > 760$	$\Delta V < 1,9$	Arsenieto de gálio (GaAs) Arsenieto de alumínio-gálio (AlGaAs)
Vermelho	$610 < \lambda < 760$	$1,63 < \Delta V < 2,03$	Arsenieto de alumínio-gálio (AlGaAs) Arsenieto de gálio-fósforo (GaAsP) Arsenieto de gálio-índio-fósforo (AlGaInP)
Laranja	$590 < \lambda < 610$	$2,03 < \Delta V < 2,10$	Arsenieto de gálio-fósforo (GaAsP) Arsenieto de gálio-índio-fósforo (AlGaInP)
Amarelo	$570 < \lambda < 590$	$2,10 < \Delta V < 2,18$	Arsenieto de gálio-fósforo (GaAsP) Arsenieto de gálio-índio-fósforo (AlGaInP)
Verde	$500 < \lambda < 570$	$2,18 < \Delta V < 4,00$	Nitreto de índio- gálio (InGaN)/nitreto de gálio(III) (GaN) Fosfeto de gálio(III) (GaP) Fosfeto de alumínio-gálio-índio (AlGaInP) Fosfeto de alumínio-gálio (AlGaP)
Azul	$450 < \lambda < 500$	$2,48 < \Delta V < 3,70$	Seleneto de Zinco (ZnSe) Nitreto de índio- gálio (InGaN) Carboneto de Silício (SiC) como substrato
Violeta	$400 < \lambda < 450$	$2,76 < \Delta V < 4,00$	Nitreto de índio- gálio (InGaN)
Ultravioleta	$\lambda < 400$	$3,10 < \Delta V < 4,40$	Diamante (C) Nitreto de Alumínio (AlN) Nitreto de alumínio-gálio (AlGaIn) Nitreto de alumínio-gálio-índio (AlGaInN)
Branco	Faixa do espectro visível	$\Delta V > 3,5$	Chip Azul ou UV com fósforo

Um arranjo no semiconductor, no qual do lado P existam 60 átomos de arsênio e 40 átomos de fósforo para cada 100 átomos de gálio, vai gerar uma diferença de potencial de 1,8 V e a cor da luz emitida corresponde à vermelha. Os LEDs comerciais projetados para emitir luz visível são em geral compostos por ligas de arsenieto de gálio no lado N e arsenietofosfetode gálio no lado P. Usando diferentes proporções de arsênio e fósforo e

outros elementos, como o alumínio, é possível fabricar LEDs que emitem luz de praticamente qualquer cor, incluindo o infravermelho, como pode ser visto na Tabela 2.1.

Esta característica da emissão de luz nos LEDs tem a vantagem da combinação de cores para emitir outras cores, mas tem também um grande problema com a qualidade da luz emitida, devido ao seu espectro luminoso. A definição e importância da qualidade do espectro serão debatidas com detalhes no Capítulo 3.

OS PRINCIPAIS CONCORRENTES DAS LÂMPADAS DE LED

O mercado da iluminação está muito além das lâmpadas. O sistema de iluminação é repleto de outras tecnologias que complementam e adaptam a luz emitida pelas lâmpadas. Podemos dizer que indispensáveis em um sistema de iluminação além das lâmpadas, são as luminárias e os equipamentos auxiliares – reatores, ignitores, transformadores etc. As luminárias cumprem o papel de direcionar ou ampliar a luminosidade através de refletores ou formas construtivas. E claro, também têm a missão de valorizar esteticamente o lugar. Os equipamentos auxiliares servem para dar partida na lâmpada. Mas existem centenas ou milhares de outros recursos para aperfeiçoar a iluminação artificial. Por exemplo, um *dimmer*, que tem a função de variar a luminosidade emitida por uma lâmpada controlando a passagem de corrente que chega a ela. Este equipamento gera versatilidade ao projeto de iluminação, uma vez que permite adaptar a luminosidade de um ambiente de acordo com a atividade que está sendo realizada.

Entretanto, no mundo moderno a busca por tecnologias limpas e pelo uso racional de energia elétrica proporcionou o desenvolvimento de pesquisas por soluções energéticas mais eficientes, e até agora, nenhuma tecnologia na iluminação tem um desempenho energético similar ao LED. Impulsionados pelo baixo consumo energético do LED, os grandes fabricantes mundiais do mercado da iluminação vêm desenvolvendo dispositivos eletrônicos capazes de adaptar as lâmpadas de LED para utilização nas mais diversas aplicações. Existem pesquisas e já há em algumas cidades a presença de lâmpadas de LED para todo o tipo de aplicação. [17]

Alguns conceitos e grandezas da luminotécnica serão vistos agora, antes de uma breve apresentação sobre as principais tecnologias de lâmpadas que estão ameaçadas pelas lâmpadas de LED.

3.1 Um Pouco de Luminotécnica

É fundamental o conhecimento de alguns conceitos e grandezas da luminotécnica para se entender e comparar as diversas lâmpadas existentes.

a) Curvas de Eficácia Luminosa Espectral – Estão relacionadas com o processo visual do olho humano. As principais características do olho humano durante este processo são: acomodação, adaptação, campo de visão, acuidade, persistência visual e visão de cores. “Cada uma delas influi em maior ou menor grau no projeto de sistemas de iluminação”, segundo Costa [1]. Quanto à qualidade da cor, é importante a característica da adaptação, que pode ser entendida como a sensibilidade humana aos comprimentos de onda de luz emitida [29]. A retina é composta por dois tipos de sensores nervosos: os bastonetes e os cones. Os bastonetes são responsáveis pela visão escotópica, associados às baixas luminosidades (visão noturna) e são sensíveis aos comprimentos de ondas menores, com pico a 507 nm. Os cones que geram a visão fotópica são associados às grandes luminosidades (visão diurna), e durante a visão de cores enxergam os comprimentos de onda maiores, que atingem um pico de até 554 nm. Uma fonte de luz ideal deve emitir um comprimento de onda entre 507 nm e 555 nm para garantir a qualidade das cores. A representação destas curvas está na Figura 3.1.

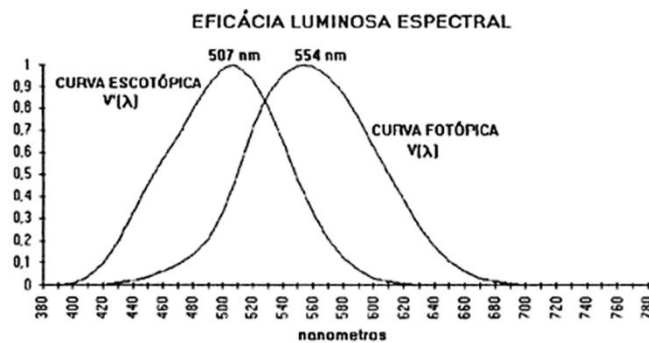


FIGURA 3.1 - CURVA DA EFICÁCIA LUMINOSA ESPECTRAL
Fonte: Iluminação Econômica: cálculo e avaliação [1]

Uma aplicação destas curvas encontra-se no Capítulo 4 deste projeto.

b) Fluxo Luminoso (ϕ) – sua unidade é o lúmen (lm). É a potência da radiação luminosa total emitida por uma fonte de luz em todas as direções do espaço. É também definido como a representação da energia emitida ou refletida, por segundo, em todas as direções sob a forma de luz [1]. Uma ilustração do fluxo luminoso pode ser vista na Figura 3.2.

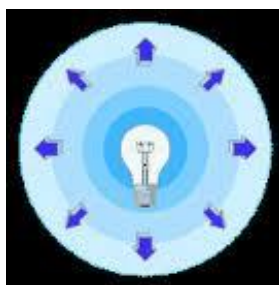


FIGURA 3.2 - - FLUXO LUMINOSO

Fonte: Pesquisa de imagens Google. Acesso em 10/10/12.

c) Intensidade Luminosa (I) – sua unidade é a candela (cd). É a potência da radiação luminosa em uma determinada direção, pode se dizer que a sua representação é a de um vetor: possui módulo (valor em candelas); direção (medida considerando a fonte luminosa no centro) e sentido (do centro para a superfície da esfera) [1]. Como a maioria das lâmpadas não apresenta uma distribuição uniforme da sua radiação luminosa é prática comum a utilização de Curvas de Distribuição Luminosa, chamadas CDL que exibem o comportamento da intensidade luminosa no espaço. A Figura 3.3 exibe um exemplo de CDL.

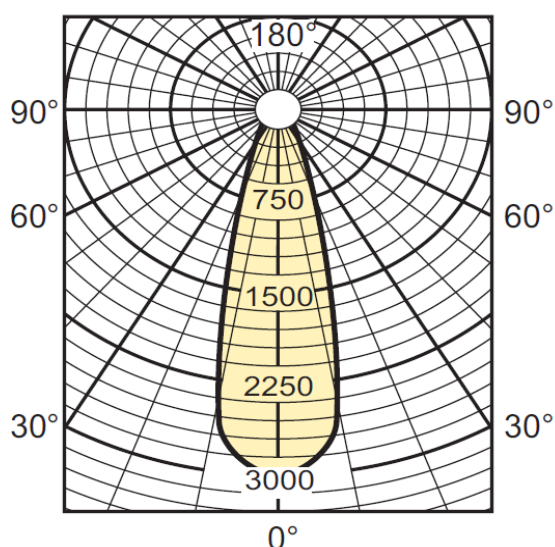


FIGURA 3.3 - CURVA DA DISTRIBUIÇÃO LUMINOSA DA LÂMPADA HALÓGENA MODELO PAR38 DA PHILIPS

Fonte: Catálogo Philips [16]

Por definição, a intensidade luminosa é definida como a razão do fluxo elementar $d\phi$ que sai de uma fonte e se propaga no elemento de ângulo sólido $d\omega$, que contém a direção considerada para esse elemento de ângulo sólido. Matematicamente: [1]

$$I_{\alpha} = \lim_{\omega \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi}{\Delta\omega} = \frac{d\Phi}{\omega}$$

d) Iluminância (E) – sua unidade é o lux. É a relação entre o fluxo luminoso incidente sobre uma superfície e a área desta superfície. Uma unidade de lux é definida como o iluminamento de uma superfície de 1 m² recebendo de uma fonte puntiforme a 1 m de distância, na direção normal, um fluxo luminoso de 1 lúmen, uniformemente distribuído. [15] A iluminância pode ser calculada como:

$$E = \frac{\Phi}{A}$$

Ela pode ser medida com o auxílio de um aparelho chamado luxímetro. Como o fluxo luminoso não é distribuído uniformemente, a iluminância não será a mesma em todos os pontos da área em questão. Considera-se por isso a iluminância média (E_m) [8]. A E_m é normalizada, com valores mínimos, médios e máximos, para ambientes diferenciados pela atividade exercida e relacionados ao conforto visual. Esses critérios devem ser atendidos dentro de um projeto luminotécnico. A iluminância não é percebida pelo olho humano (Figura 3.4).



FIGURA 3.4 – ILUMINÂNCIA
Fonte: Apostila Conceitos e Projetos [8]

A Norma Brasileira ABNT NBR-5413, estabelece uma faixa de valores admissíveis de iluminância de acordo com as tarefas desenvolvidas, conforme a Tabela 3.1.

TABELA 3.1 - NÍVEIS DE ILUMINÂNCIA ESTABELECIDOS PELA NBR-5413

	ILUMINÂNCIA (lux)	TIPO DE AMBIENTE / ATIVIDADE
CLASSE A (áreas de uso contínuo e/ou execução de tarefas simples)	20 - 30 - 50	- ruas públicas e estacionamentos
	50 - 75 - 100	- ambientes de pouca permanência
	100 - 150 - 200	- depósitos
CLASSE B (áreas de trabalho em geral)	200 - 300 - 500	- trabalhos brutos e auditórios
	500 - 750 - 1.000	- trabalhos normais: escritórios e fábricas
	1.000 - 1.500 - 2.000	- trabalhos especiais: gravação, inspeção, indústrias de tecidos
CLASSE C (áreas com tarefas visuais minuciosas)	2.000 - 3.000 - 5.000	- trabalho contínuo e exato: eletrônica
	5.000 - 7.500 - 10.000	- trabalho que exige muita exatidão: placas eletro-eletrônicas
	10.000 - 15.000 - 20.000	- trabalho minucioso especial: cirurgia

e) Luminância (L) – Medida em candelas por metro quadrado (cd/m²), é a intensidade luminosa produzida ou refletida por uma superfície aparente. A luminância pode ser considerada como a medida física do brilho de uma superfície iluminada ou de uma fonte de luz, sendo através dela que os seres humanos enxergam (Figura 3.5) [1].



FIGURA 3.5 – LUMINÂNCIA [8]

Fonte: Apostila Conceitos e Projetos [8]

f) Espectro Luminoso – É um espectro eletromagnético. Ele é dividido em duas grandes faixas: ondas e radiações. O espectro luminoso está na faixa das radiações, dentro do grupo luz visível. A luz é uma faixa de radiação eletromagnética, com comprimento de onda entre 380 nm a 780 nm (10^{-9} m), ou seja, está entre a radiação ultravioleta e infravermelha, conforme ilustrado na Figura 3.6 [1].

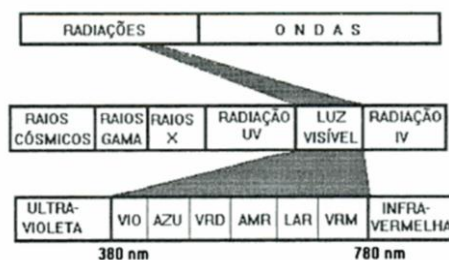


FIGURA 3.6 – ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO [1]
 Fonte: Iluminação Econômica: cálculo e avaliação [1]

Para o estudo da iluminação, existem três regiões que devem ser consideradas: ultravioleta, luz visível e infravermelha. A radiação ultravioleta é dividida em UV-A, que atravessa a maioria dos vidros e provoca a fluorescência; UV-B, que tem ação terapêutica sobre a pele; e UV-C, que possui efeito germicida e atua sobre micro-organismos. A radiação infravermelha também é dividida em três faixas (IR-A, IR-B e IR-C) e é percebida sob a forma de calor. [1].

Espectros contínuos ou descontínuos resultam em fonte de luz com presença de comprimentos de ondas de cores distintas. Cada fonte de luz tem, portanto, um espectro de radiação próprio que lhe confere características e qualidades específicas. A cor de um objeto é determinada pela reflexão de parte do espectro de luz que incide sobre ele. Isso significa que uma boa reprodução da cor está diretamente ligada à qualidade da luz incidente, ou seja, à distribuição equilibrada das ondas constituintes do seu espectro [8].

g) Índice de Reprodução de Cor (IRC) - Indica o quanto que a iluminação artificial se aproxima da iluminação natural, o Sol. Tecnicamente falando, indica o quanto do espectro de emissão de um corpo negro⁶, no caso o Sol, é reproduzido pela lâmpada. Um corpo negro emite radiação contínua em todo o espectro eletromagnético com o pico de emissão dependente da temperatura do corpo. Lâmpadas incandescentes são compostas de filamento de tungstênio aquecido em um bulbo com gás inerte, e se comportam como um corpo negro ideal e, portanto, tem IRC igual a 100, ou seja, a lâmpada incandescente proporciona reprodução fiel de cores, pois reproduz um espectro luminoso de tal forma que a sua

⁶ O corpo negro é definido como o corpo que absorve toda a radiação que nele incide a uma temperatura de 0 K. Ele passa a emitir um espectro de radiação universal que depende apenas de sua temperatura, não de sua composição. Fonte: Wikipédia. [41]

iluminação se assemelha com a iluminação natural. Como este índice é baseado na iluminação incandescente, as lâmpadas monocromáticas, que só emite a faixa de frequência do comprimento de onda referente a uma cor, apresentam IRC=0 [1].

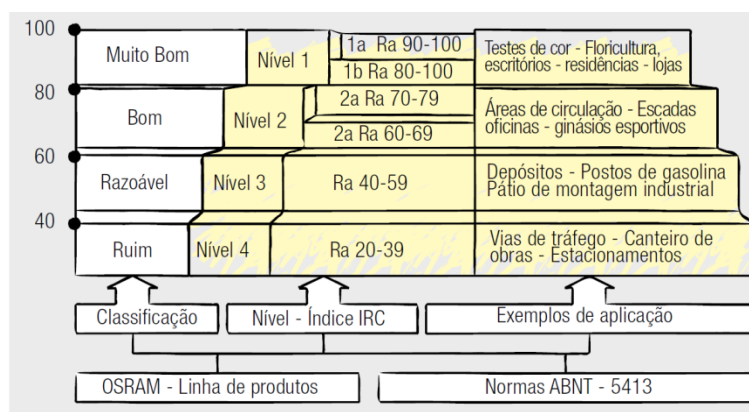


FIGURA 3.7 - ÍNDICE DE REPRODUÇÃO DE COR E EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

Fonte: Apostila Conceitos e Projetos [8]

h) Temperatura de Cor Correlata (TCC) – expressa em kelvins (K). Relaciona a tonalidade da luz emitida com a temperatura. As cores “quentes” possuem aparência avermelhada ou amarelada e as cores mais “frias” são azuladas.



FIGURA 3.8 - RELAÇÃO ENTRECOR E TEMPERATURA DE LUZ

Fonte: Apostila Conceitos e Projetos [8]

A cor da lâmpada pode ser definida em termos de temperatura de cor. Existem três principais categorias, de acordo com o fabricante Philips [18]:

- Branco quente: < 3.300 K
- Branco frio: entre 3.300 K e 5.300 K
- Branco luz do dia: > 5.300 K

Mesmo com a mesma cor de luz, as lâmpadas podem ter diferentes índices de reprodução de cor.

i) Eficiência Energética – sua unidade é o lúmen por watt (lm/W). Esta grandeza relaciona o quanto de fluxo luminoso é gerado por potência consumida. Como geralmente a lâmpada é instalada dentro de luminárias, o fluxo luminoso final disponível é menor do que o irradiado pela lâmpada, devido às perdas na luminária (absorção, reflexão e transmissão da luz pelos materiais da luminária). Abaixo, uma tabela comparativa da eficiência energética realizada com lâmpadas da OSRAM.

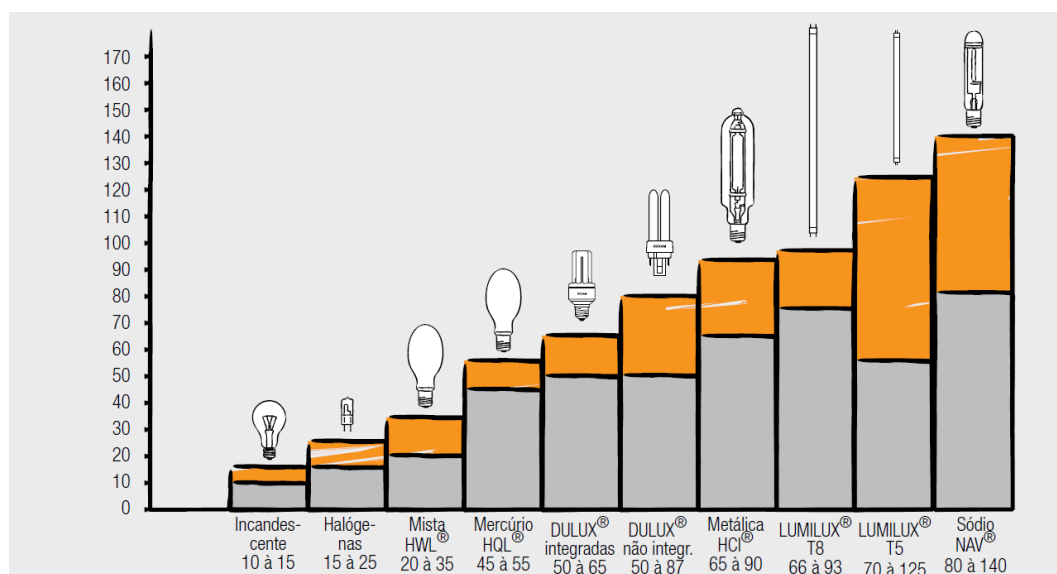


GRÁFICO 3.1 – COMPARAÇÃO DA EFICIENCIA ENERGÉTICA COM LÂMPADAS OSRAM [

Fonte: Apostila Conceitos e Projetos [8]

Em outras palavras, a eficiência energética é um indicador da quantidade de energia elétrica consumida que é convertida em luz ou ainda simplesmente o rendimento da lâmpada.

j) Vida útil – É o número de horas decorrido quando se atinge 70% da quantidade de luz inicial devido à depreciação do fluxo luminoso de cada lâmpada, somado ao efeito das respectivas queimas ocorridas no período. [8]

3.2 As Lâmpadas Incandescentes

A lâmpada incandescente é a tecnologia mais antiga ainda em uso. A Figura 3.9 mostra a composição desta lâmpada.



FIGURA 3.9 – COMPOSIÇÃO DA LÂMPADA INCANDESCENTE
Fonte: Guia Prático Philips [18]

Princípio de funcionamento

É alimentada por uma fonte de energia através de duas gotas de solda existentes em sua base metálica. A corrente elétrica atravessa os fios metálicos aquecendo o filamento, que em temperaturas elevadas passa a emitir luz – é o efeito Joule. O filamento fica então incandescente, de onde vem o nome da lâmpada.

O filamento atualmente utilizado é o tungstênio, que garante maior durabilidade à lâmpada, pois este metal só se derrete quando submetido a altas temperaturas. Para se ter uma idéia, a temperatura de trabalho deste metal é aproximadamente de 3.000° C. [15]

O interior do bulbo da lâmpada é preenchido por uma combinação de gases inertes: nitrogênio e argônio ou criptônio para evitar centelhas e posteriormente combustão, pelo contato da centelha com o oxigênio.

Sua principal vantagem nos dias de hoje é seu nível de IRC, que é o ideal (100), o que ainda garante a ela espaço em alguns segmentos onde é essencial a reprodução fiel da cor, por exemplo, uma fábrica de tintas.

Principais características

Possui IRC=100, com reprodução fiel das cores, o que lhe garante excelente qualidade de cor.

As lâmpadas incandescentes não necessitam de equipamentos auxiliares para seu funcionamento, podendo ser conectadas diretamente à rede elétrica através de bocais E-27.

Podem ser dimerizadas, isto é, elas podem ter a sua intensidade luminosa controlada, aumentando a sua diversidade de aplicações.

O rendimento da lâmpada incandescente é muito baixo: apenas o equivalente a 5% da energia elétrica consumida é transformado em luz, os outros 95% são perdidos em forma de calor. Os modelos mais recentes da Philips [16] possuem eficiência energética entre 9 e 18 lm/W.

Sua vida útil também é muito baixa, alcançando no máximo 1.000 horas. [16]

Aplicações em áreas residenciais, comerciais e hotéis, onde se precise de iluminação de baixo custo. [16]

3.3 As Lâmpadas Fluorescentes

As lâmpadas fluorescentes comuns ainda são as preferidas para uso em galpões e escritórios.

Princípio de funcionamento

O princípio de funcionamento das lâmpadas fluorescentes tubulares e compactas é idêntico, mas bem diferente das lâmpadas incandescentes.

Em cada extremidade, existem dois eletrodos responsáveis pela circulação de átomos de mercúrio, presentes juntamente com um gás inerte de baixa pressão no interior da lâmpada. É então aplicada uma pequena descarga elétrica nos eletrodos suficiente para romper a rigidez dielétrica ⁷entre eles. A passagem de corrente elétrica neste meio gasoso produz uma excitação atômica nos átomos de mercúrio que liberam elétrons que emitem uma radiação ultravioleta, que não é visível. Esta luz ao passar pelo bulbo (vidro) que contém um material fosforescente reage e então a luz visível é emitida [15]. Um esquema deste processo está ilustrado na Figura 3.10.

⁷ A rigidez dielétrica especifica a tensão máxima que pode ser aplicada entre dois eletrodos antes que o meio entre eles se torne condutor.

Após a partida, quando ocorre a descarga elétrica, a lâmpada apresenta uma impedância dinâmica (derivada da tensão em relação à corrente) negativa, ou seja, a diferença de potencial entre os eletrodos diminui à medida que aumenta a corrente. Para conter este efeito, é necessário estabilizar o valor da corrente. Para isso é utilizado um reator, um equipamento que estabiliza a corrente alternada com uma associação de elementos reativos (capacitores e indutores) de forma eficiente, para reduzir a dissipação de potência ativa [15]. O reator é conectado à rede elétrica e a lâmpada conectada ao reator. O reator além de possuir a função de estabilizar a corrente, ele também pode funcionar como um ignitor, elevando a tensão para dar a partida na lâmpada de descarga.

Em alguns casos, para dar a partida na lâmpada fluorescente, é utilizado o *starter*. Ele é uma chave temporizada que permite a passagem de corrente pelos filamentos nas extremidades do tubo da lâmpada. Quando se liga uma lâmpada fluorescente, o *starter* é uma chave fechada. A passagem da corrente elétrica provoca o aquecimento dos filamentos da lâmpada e faz com que os contatos do *starter* se abram, provocando uma tensão que rompe a rigidez dielétrica do meio no interior do tubo [42].

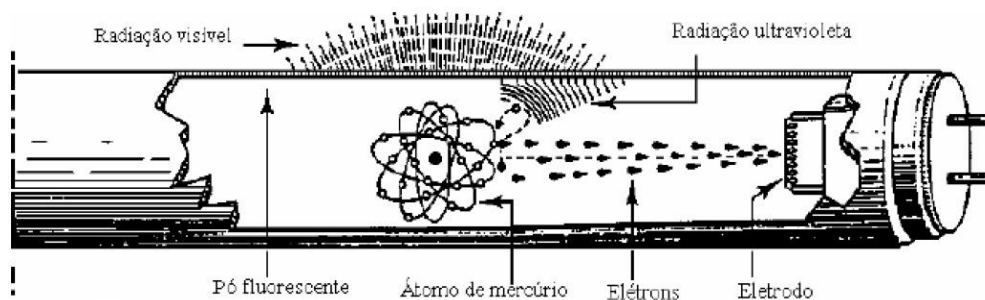


FIGURA 3.10 - ESQUEMA INTERNO DA LÂMPADA FLUORESCENTE TUBULAR
Fonte: Apostila Luminotécnica e Lâmpadas Elétricas [15]

Principais características

A composição e espessura do pó fluorescente (a base de fósforo) influenciam na temperatura de cor, no índice de reprodução de cor e na eficiência da lâmpada. O pó fluorescente ou fosforescente é responsável pela emissão da luz visível, ao reagir com a radiação ultravioleta gerada no interior do bulbo da lâmpada. Na década de 1980 foi desenvolvida uma nova família de fósforos, conhecida comercialmente como “trifósforos”, que são três compostos cada um com uma banda de emissão em uma frequência estreita

centrada em comprimentos de onda do azul, vermelho e verde, que melhoraram a qualidade da lâmpada.

A iluminação da lâmpada fluorescente não oferece riscos à saúde, pois a quase totalidade da radiação ultravioleta emitida pela descarga é absorvida pelo pó fluorescente e pelo vidro do tubo de descarga.

O descarte inadequado destas lâmpadas é tóxico para o meio ambiente e seres humanos, principalmente por causa da presença do mercúrio.

Existem modelos com quase todas as temperaturas de cor.

Vida útil variando de 7.500 horas, para os modelos tradicionais que possuem diâmetro de 26 mm a 36 mm e até 24.000 horas, para os modelos mais novos, tubulares superfinas com diâmetros de 16 mm [16].

Alta eficiência energética, acima de 50 lm/W e chegando a mais de 100 lm/W.

Aplicações em áreas comerciais, industriais, residenciais [16].

3.4 As Lâmpadas Fluorescentes Compactas (LFC)

São lâmpadas eletrônicas que foram desenvolvidas para substituir as lâmpadas incandescentes com maior eficiência e economia de energia. Estas lâmpadas são conhecidas como lâmpadas de descarga.

Seu princípio de funcionamento é idêntico ao das lâmpadas fluorescentes comuns. A diferença está no formato – mais compacto, e no reator – incorporado à lâmpada, conforme mostra a Figura 3.11.



FIGURA 3.11 - LÂMPADA FLUORESCENTE COMPACTA
Fonte: Guia Prático Philips [18]

Principais características

O reator está incorporado à base da lâmpada, que externamente é idêntico ao da incandescente, facilitando a substituição.

Durabilidade de 8.000 horas, ou seja, oito vezes a duração de uma incandescente.

Proporciona uma economia de até 80% de consumo de energia elétrica, sua eficiência energética está entre 47 lm/W e 67 lm/W, nos modelos da Philips.

É comercializada com diferentes tonalidades de cores, com temperaturas de 2.200 K a 6.500 K.

Em sua maioria, não podem ser utilizadas com *dimmer*.

Possuem bons índices de reprodução de cor, em média IRC=80.

Reduzem a emissão de gás carbônico (CO₂) na atmosfera. Em comparação com as incandescentes convencionais, os modelos da OSRAM permitem redução de até meia tonelada durante toda a sua vida útil, conforme ilustrado no Gráfico 3.2 [18].

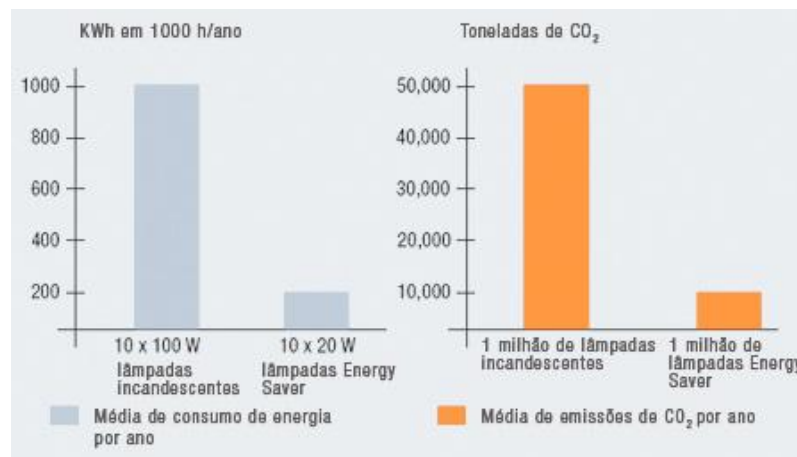


GRÁFICO 3
GRÁFICO 3.2 - COMPARAÇÃO CONSUMO E EMISSÃO DE CO₂ INCANDESCENTES X FLC DA OSRAM
 Fonte: OSRAM [21]

3.5 As Lâmpadas de Vapor de Sódio de Alta Pressão

Conhecidas também como lâmpadas de HPS (*High Pressure Sodium*). É uma lâmpada de descarga com aplicação principalmente na iluminação pública.

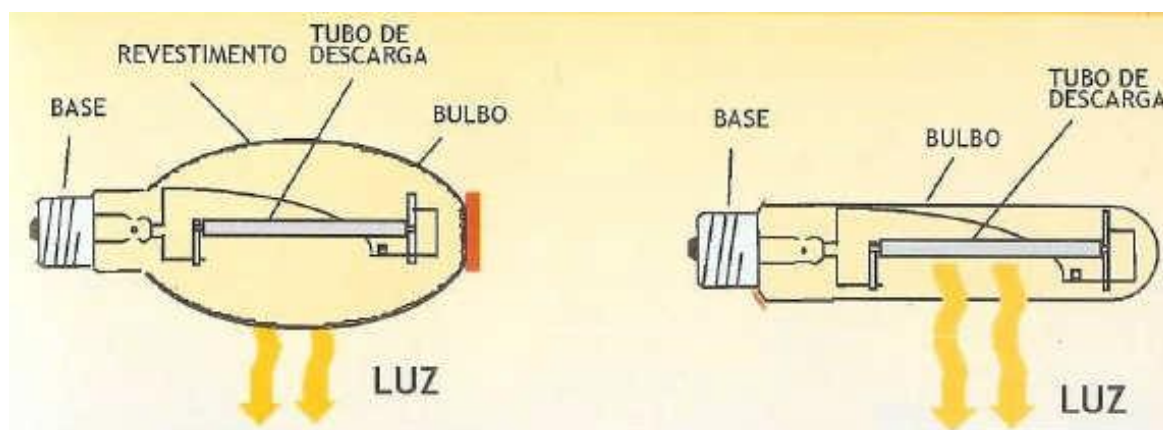


FIGURA 3.12 - COMPOSIÇÃO BÁSICA DA LÂMPADA DE VAPOR DE SÓDIO DE ALTA PRESSÃO
 Fonte: Apostila Luminotécnica e Lâmpadas Elétricas [15]

Princípio de funcionamento [15]

Ela é constituída por um tubo de descarga, com um eletrodo em cada extremidade. O tubo de descarga contém vapor de sódio pressurizado, vapor de mercúrio também

pressurizado (o mercúrio a uma pressão maior) e xenônio. Este último atua como gás de partida, gerando o calor necessário para vaporizar o sódio e o mercúrio.

A lâmpada precisa de um reator e ignitor para seu funcionamento. O ignitor é necessário para elevar a tensão até aproximadamente 4.500 V. O processo de ignição da lâmpada de vapor de sódio é semelhante à fluorescente convencional, a principal diferença neste processo é do *starter* ser substituído por um ignitor. O surto de tensão, gerado no processo de ignição, ioniza o gás xenônio e facilita a emissão de elétrons entre os eletrodos. A partir deste instante o reator passa a funcionar como um estabilizador da corrente e então o ignitor é desativado. O esquema de acionamento desta lâmpada está ilustrado na Figura 3.13.

O arco inicial provocado pela ação do ignitor é necessário para elevar a temperatura no interior do tubo de descarga vaporizando o mercúrio. A vaporização do mercúrio e sua subsequente ionização aumentam a intensidade da corrente do arco, elevando a temperatura da atmosfera do bulbo interno a níveis de vaporização do sódio metálico, aumentando assim, a pressão no tubo de descarga e a quantidade de emissão de luz. O processo de acendimento dura em torno de 3 a 10 minutos.

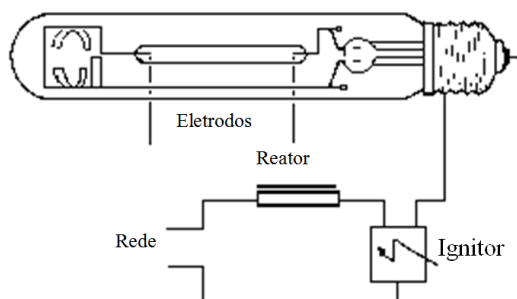


FIGURA 3.13 - ESQUEMA DO CIRCUITO DE ACIONAMENTO DA LÂMPADA [15]

Fonte: Apostila Luminotécnica e Lâmpadas Elétricas [15]

Principais características

Possuem alta eficiência luminosa, variando entre 84 e 150 lm/W nos modelos da Philips.

Tem garantia de longa vida útil, de até 32.000 horas e possui baixa depreciação de fluxo.

Apresentam um índice de reprodução de cor muito baixo ($IRC=20$), entretanto existem alguns modelos especiais que conseguem um elevado índice de reprodução de cor ($IRC=85$), mas perdem sua eficiência luminosa (80 lm/W) [15].

Com uma temperatura de cor de aproximadamente 2000 K, ela emite uma luz dourada. Esta característica aliada às citadas anteriormente favorece sua aplicação principalmente para iluminação de alguns tipos de áreas abertas, ruas, avenidas, indústrias e galpões, onde a qualidade da cor não é tão importante [16].

Quando se desliga uma lâmpada HPS alimentada por um reator indutivo com ignitor convencional, a sua reignição só é possível após 3 a 7 minutos, intervalo de tempo necessário para o esfriamento da lâmpada.

O MERCADO DA ILUMINAÇÃO

O Brasil é a sexta maior economia mundial desde 2011. A economia brasileira só está atrás de Estados Unidos, China, Japão, Alemanha e França. O principal indicador utilizado neste ranking é o Produto Interno Bruto (PIB), que é a soma de tudo o que um país produz. No ano de 2008, quando as principais potências mundiais estavam vivendo, talvez, o ápice de uma crise financeira que se estende até os dias atuais, o Brasil conquistou pela primeira vez o selo de grau de investimento seguro, status concedido por agências globais de classificação de risco.

A atual situação da economia nacional contribui positivamente para o aquecimento de vários mercados, inclusive o mercado da iluminação. As novas tecnologias, mais eficientes e preocupadas com a sustentabilidade ganham investimentos e o espaço de produtos tradicionais. Um breve histórico do mercado da iluminação, com foco no desenvolvimento das lâmpadas, e as mudanças que já estão ocorrendo atualmente além de uma prospecção do futuro da iluminação no mundo e no Brasil, são temas que serão abordados neste Capítulo e podem auxiliar no entendimento do cenário do mercado de iluminação na atualidade.

4.1 A Chegada da Energia Elétrica no Brasil⁸

É incontestável o papel da iluminação na vida e no desenvolvimento do ser humano. O valor da iluminação para a civilização é tanto que há relatos até na Bíblia, onde se diz que antes de qualquer coisa, Deus primeiro criou a luz. A iluminação artificial, por séculos, era constituída por tochas, luminárias com acendimento a gás ou a óleo, até o advento da descoberta da eletricidade.

No século XVIII, já era de conhecimento público a existência da energia elétrica, mas não foi simples a sua incorporação aos processos produtivos. O grande progresso mundial

⁸ As informações coletadas para este parágrafo, estão disponibilizadas em Memória Eletrobrás [10] e no artigo “Longa Dependência” [27].

com o uso da eletricidade só foi impulsionado após a introdução de tecnologias para distribuição de energia. Os investimentos ocorreram devido à demanda dos processos industriais, mas a primeira utilização do sistema de distribuição se deu na iluminação pública. Os grandes centros urbanos da época também já não eram seguros para se sair à noite pelas ruas e isto preocupava os governantes que não conseguiam garantir a segurança com os precários sistemas de iluminação existentes.

A Inglaterra recebeu, no final do século XIX, os primeiros sistemas de distribuição, que foram logo em seguida instalados na França e Itália. Apesar de atrasado em muitos aspectos, o Brasil teve em 1879 a sua primeira iluminação pública. O Imperador do Brasil, Dom Pedro II, em uma viagem pela Europa conheceu o serviço de iluminação elétrica permanente nas vias públicas e trouxe a tecnologia para o Brasil. O primeiro sistema de distribuição de energia elétrica do país foi instalado no Rio de Janeiro, a capital do Brasil na época, mais precisamente na Estação da Corte (hoje Estação Pedro II) na estrada de ferro da Central do Brasil no ano de 1879. Este sistema rudimentar possuía seis lâmpadas de arco voltaico, em substituição a 46 bicos de gás, alimentadas por um dínamo. Um exemplo desta substituição está na Figura 4.1.

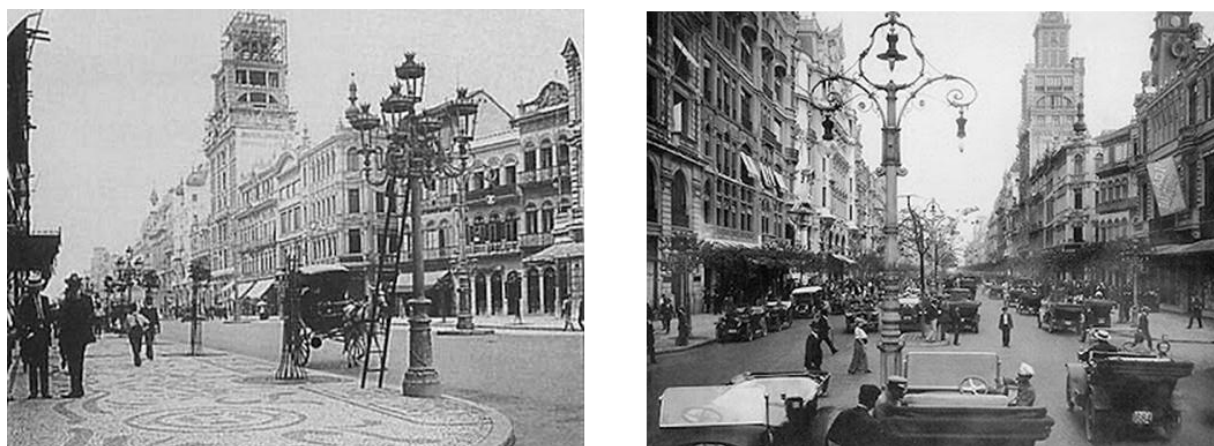


FIGURA 4.1 – FOTO DA ESQUERDA COM ILUMINAÇÃO À BASE DE QUEIMADORES A GÁS E A DA DIREITA COM LÂMPADAS DE ARCO VOLTAICO, NA AVENIDA CENTRAL (ATUAL AV RIO BRANCO) NO RIO DE JANEIRO

Fonte: Curiosidades Cariocas [9]

Ainda por ordem do Governo Imperial, em 1881, foi instalada a primeira iluminação externa pública do país pela Diretoria Geral dos Telégrafos. O sistema era composto por 16 lâmpadas de arco voltaico, alimentadas por dois dínamos acionados por um locomóvel (máquina de vapor). Neste mesmo ano, ocorreu a primeira demonstração de iluminação de

edificações no Brasil, no prédio do Ministério da Viação e Obras Públicas, situado no Largo do Paço, atual Praça XV de Novembro, também na cidade do Rio de Janeiro. A iluminação artificial possuía 60 lâmpadas do sistema Edison (incandescentes) e eram alimentadas por um dínamo de 10 HP. Esta demonstração ocorreu durante a inauguração da Exposição Industrial no Rio. A primeira cidade brasileira a possuir uma usina termoeletrica a vapor, e consequentemente o sistema de iluminação pública em toda a sua extensão, foi Campos de Goytacazes, no Rio de Janeiro no ano de 1883.

São Paulo e Minas Gerais também foram privilegiados com a nova iluminação. Juiz de Fora, cidade mineira com grande produção cafeeira construiu a primeira hidrelétrica nacional de grande porte para uso público em 1889, a usina de Marmelos-Zero, da Companhia Mineira de Eletricidade. Alimentada pelo rio Paraibuna, ela possuía dois geradores monofásicos de 125 kW.



FIGURA 4.2 - A PRIMEIRA FOTO EXIBE O INÍCIO DA CONSTRUÇÃO DA BARRAGEM E A SEGUNDA MOSTRA A CASA DE FORÇA DA USINA DE MARMELOS-ZERO.

Fonte: Memória Eletrobrás [10]

A primeira capital brasileira a ser totalmente coberta por iluminação elétrica foi Belo Horizonte, em 1894. No ano de 1899 entrou em operação em São Paulo, a *São Paulo Tramway Light & Power Company Ltd*, que sucedeu a *São Paulo Railway*, criada no mesmo ano. Esta empresa, criada no Canadá, possuía investidores canadenses e norte-americanos e logo depois, em 1904, ampliou seus negócios com a criação da empresa *Rio de Janeiro Tramway, Light & Power Company*. A primeira legislação no Brasil para disciplinar o uso de energia elétrica foi aprovada pelo Congresso Nacional em 31 de dezembro de 1903, através da Lei 1.145, artigo 23 [10].

Para atender às necessidades de crescimento do setor cafeeiro e possibilitar a urbanização nas capitais, o poder público incentivou a entrada de capital estrangeiro com uma série de concessões para que empresas se instalassem no país e explorassem as

oportunidades de geração e distribuição de energia. Assim, a partir da segunda década do século XX, novas regiões do Brasil passaram a ser atendidas pela iluminação elétrica. Isso foi bastante importante para o desenvolvimento do país, pois a Primeira Guerra Mundial (1919 – 1928) provocou a escassez de produtos manufaturados importados pelo Brasil. As empresas nacionais tiveram de suprir o consumo interno, e precisaram pagar horas extras e contratar funcionários para trabalharem durante a madrugada. Estes acontecimentos somados à chegada de trabalhadores imigrantes europeus, refugiados da guerra e que já possuíam experiência em linhas de produção, possibilitaram um grande salto para a industrialização nacional.

Em 1920, a capacidade instalada de energia elétrica no Brasil era de 360 MW. Mas a partir de 1930, com a revolução industrial iniciada devido à chegada ao poder de Getúlio Vargas, o Brasil alavanca sua capacidade instalada e em 1950 possui em torno de 1900 MW. Fatores políticos e econômicos afetaram o crescimento do Brasil, e na década de 50 o país atravessa uma grande crise energética. No governo de Juscelino Kubistchek, em 1960, é criado o Ministério de Minas e Energia para coordenar o desenvolvimento do setor energético no país. Para acompanhar o crescimento da energia elétrica produzida no Brasil, observe o Gráfico 4.1, baseado em dados fornecidos pela Eletrobrás [10] e a Empresa de Pesquisa Energética – EPE [11].

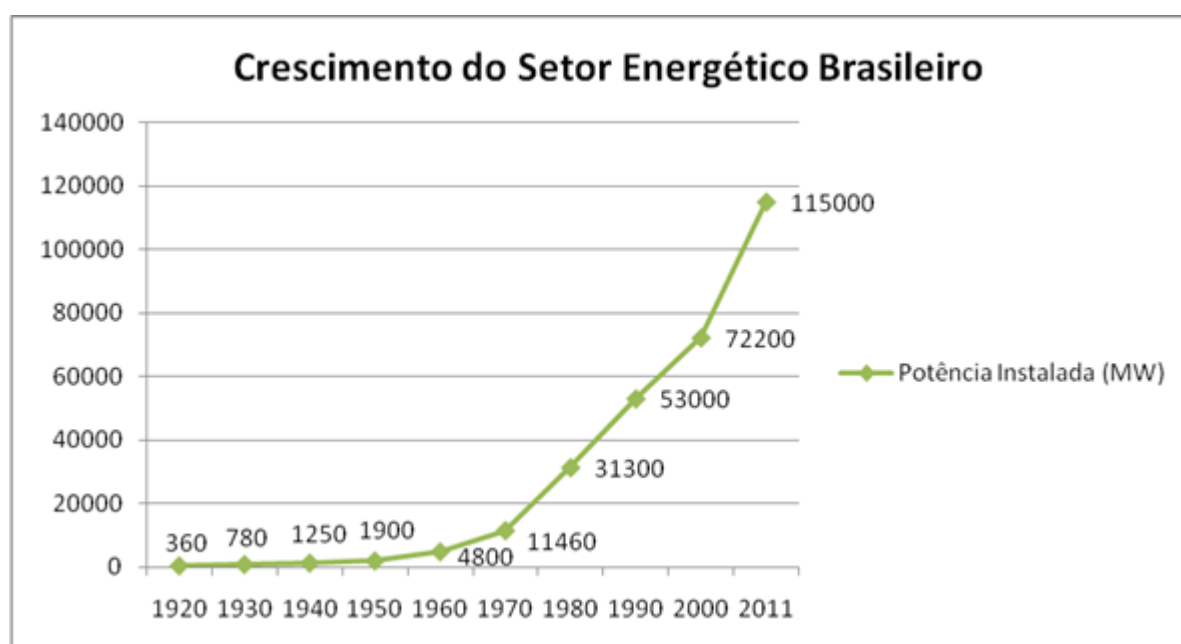


GRÁFICO 4.1 - CRESCIMENTO DA CAPACIDADE INSTALADA NO BRASIL

Durante todo o século XX o Brasil foi crescendo e organizando o seu sistema elétrico, que hoje em dia é único no mundo. Tendo como principal matriz energética as usinas hidrelétricas, o Brasil possui seu sistema elétrico interligado e conta também com geradores térmicos e duas usinas nucleares para distribuir a energia pelo país, além de pequenas contribuições de fontes alternativas de energia. Este sistema é um dos mais confiáveis e sustentáveis do mundo. O Brasil ainda tem um grande potencial energético a ser explorado. Este cenário promissor também impulsiona o mercado nacional da iluminação.

4.2 O Desenvolvimento do Mercado da Iluminação

Já são 200 anos desde a primeira lâmpada com filamentos de baixa durabilidade até os dias atuais, onde se podem encontrar lâmpadas de LED com até 100 mil horas de vida útil [16].

As primeiras lâmpadas elétricas a serem utilizadas foram destinadas à iluminação pública e por isso, embora a tecnologia das lâmpadas incandescentes estivesse sendo desenvolvida paralelamente à das lâmpadas a arco voltaico, foram estas últimas as mais vendidas no início da utilização da iluminação artificial no mundo, pois eram mais brilhantes para a iluminação de vias. Como qualquer tecnologia nova, os custos de instalação de uma iluminação artificial não eram baratos. Além disso, a vida útil das lâmpadas era bastante curta, de apenas algumas horas.

O inventor da primeira lâmpada de arco voltaico comercializável foi o químico Humphry Davy, do laboratório *Royal Institution* (Inglaterra), na primeira década do século XIX. Comercialmente elas surgiram no mercado já em meados de 1850 [27]. Seu princípio de funcionamento é a produção de um arco elétrico entre duas hastes de carbono pontiagudas alimentadas por energia elétrica. As melhores lâmpadas de arco voltaico chegaram a atingir uma durabilidade de 100 horas [27], e as hastes de carbono ficavam dentro de um tubo de vidro, para aumentar a vida útil da lâmpada. Foram incorporados às lâmpadas sais metálicos nas varetas de carbono para aumentar a quantidade de luz emitida e também para produzir diferentes cores além de um mecanismo para permitir o ajuste automático de ambos os eletrodos. Este modelo é conhecido como a lâmpada de arco voltaico do tipo Jablochhoff, ilustrada na Figura 4.3. A luminosidade emitida por estas lâmpadas era até 200 vezes

superior à das lâmpadas incandescentes sendo por isso as preferidas na iluminação pública [27].

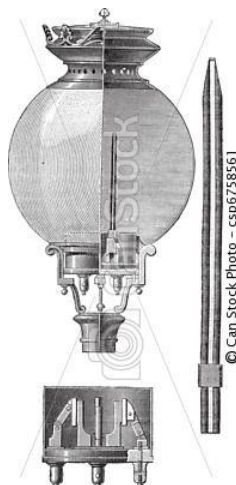


FIGURA 4.3 - LÂMPADA DE ARCO VOLTAICO DO TIPO JABLOCHKOFF

Fonte: História da Iluminação Pública [12]

Mas estas lâmpadas não demoraram a ser substituídas, pois era necessária manutenção constante para trocar os eletrodos de carbono e fazer limpeza de seu invólucro, pois a fuligem do carbono queimado enegrecia o vidro.

Vários laboratórios ao redor do mundo já estavam tentando desenvolver uma lâmpada mais prática e todos trabalhavam com a idéia de um filamento incandescente dentro de um bulbo de vidro. Os historiadores Robert Friedel e Paul Israel, da Universidade *Rutgers*, de Nova Jersey-EUA conseguiram identificar 22 inventores da lâmpada incandescente antes do físico e químico Joseph Swan. Swan conseguiu em 1860 criar um modelo de lâmpada incandescente em que o filamento era composto por resíduo de carvão e alcatrão. A partir desta criação, o norte americano Thomas Edison, inventor e empresário talentoso, desenvolveu o primeiro modelo atrativo para o comércio. Foi no ano de 1878 que Edison realizou o feito. Ele conseguiu aumentar a durabilidade da incandescência da lâmpada usando um filamento de algodão carbonizado dentro de um bulbo de vidro sem ar. Esta primeira lâmpada tinha vida útil de dois dias até que o filamento fosse totalmente consumido [14].

No ano de 1880, Thomas Edison patenteou a sua lâmpada, já com durabilidade maior e desenvolveu um método para fabricação em larga escala da lâmpada em sua companhia, a *Edison General Electric*. Em seus laboratórios, foram realizados mais de 6.000 testes, com

diferentes materiais para substituir o filamento e o que acabou sendo mais comumente utilizado nesta época foi o filamento de bambu. Assim, outros fabricantes também passaram a produzi-la. Na Figura 4.4 estão representadas a patente e a lâmpada incandescente de Thomas Edison.

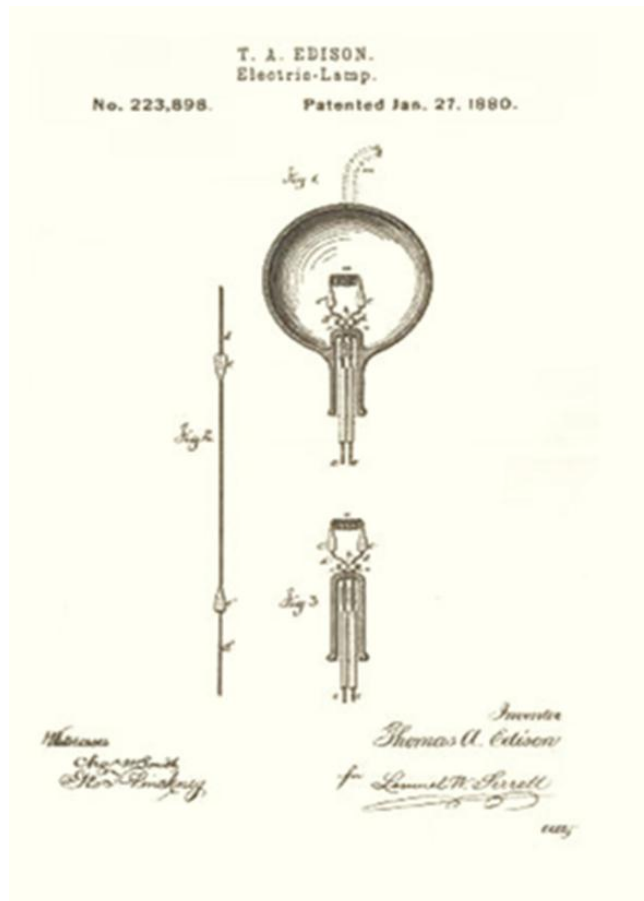


FIGURA 4.4 - APATENTE EA LÂMPADA DE THOMAS EDISON

Fonte: Pesquisa de imagens Google. 01/11/12.

Outra lâmpada que começou a ser desenvolvida em meados da segunda década do século XIX é a lâmpada de descarga de baixa pressão a vapor de mercúrio, mas ela só se tornou viável comercialmente no final deste mesmo século, com uma tecnologia similar das lâmpadas atuais.

Os sistemas de arco voltaico começaram a ser questionados na virada para o século XX, quando as lâmpadas incandescentes estavam sendo aperfeiçoadas, melhorando sua luminosidade e duração, que chegou a alcançar as mesmas 100 horas das melhores lâmpadas de arco voltaico. Atualmente lâmpadas de arco voltaico são usadas em aplicações bastante

restritas, como projetores de cinema ou holofotes, mas ainda assim ameaçam se extinguirem devido à concorrente, as lâmpadas de arco xénon. O grande sucesso das lâmpadas incandescentes nesta fase pode ser explicado, segundo os historiadores da Rutgers, pelo diferencial impresso nelas por Thomas Edison. Eles concluíram que as lâmpadas de Edison foram vitoriosas por combinarem três características: o filamento de bambu carbonizado que possuía uma boa incandescência melhorou a qualidade do vácuo no invólucro com o uso de uma bomba Sprengel⁹ e uma elevada resistência capaz de permitir a viabilidade da distribuição e energia elétrica a partir de uma fonte centralizada.

A comercialização de lâmpadas no Brasil durante o século XIX era escassa, uma vez que as lâmpadas eram importadas e dependia principalmente do investimento do governo. Entretanto, essa história começou a mudar em 1919, com a inauguração da primeira fábrica de lâmpadas no Brasil pela GE (oriunda da *Edison General Electric*), que já estava atuando no Brasil com construção de pequenas hidrelétricas [10]. A fábrica chamada MAZDA, com sede no Rio de Janeiro, modificou o cenário da iluminação artificial no Brasil. O ingresso de capital estrangeiro possibilitou a construção de outras fábricas, de empresas concorrentes da GE, como a Siemens e alavancou este mercado.

Em 1901 o engenheiro Peter Cooper Hewitt, norte americano, patenteou a lâmpada de vapor de mercúrio (Figura 4.5). Similar à lâmpada de arco, esta utilizava vapor de mercúrio no interior do bulbo de vidro. Estas lâmpadas foram as precursoras para lâmpadas fluorescentes e também originaram outros tipos de lâmpadas como as lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão, lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão, lâmpadas de multivapores metálicos e outras similares [14].

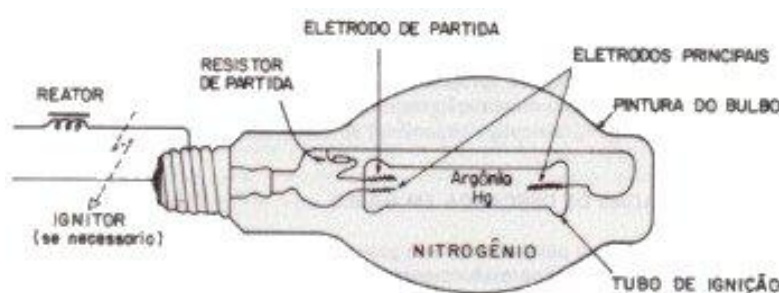


FIGURA 4.5 - ESQUEMA DA LÂMPADA DE VAPOR DE MERCÚRIO DE BAIXA PRESSÃO.

Fonte: Lâmpadas e LEDs [14]

⁹ A bomba Sprengel permite obter um alto grau de vácuo através de um tubo por onde são descartadas gotas de mercúrio.

O americano Irving Langmuir substituiu o filamento de carbono da lâmpada incandescente por um filamento de tungstênio em 1915 [14]. A grande vantagem deste filamento era sua elevada temperatura de fusão, que possibilitava uma vida útil mais longa às lâmpadas.

Uma tecnologia muito importante foi patenteada em 1927 [14]. Era a lâmpada fluorescente. Seu princípio de funcionamento também se baseia na construção de um arco elétrico para emitir luz e ela possui mercúrio em seu interior, porém, com algumas diferenças, entre elas a baixa pressão e o revestimento no interior do bulbo para aumentar a eficiência. A luz é produzida quando a energia ultravioleta gerada por um arco de mercúrio ativa um pó fluorescente (geralmente fósforo) dentro do bulbo. Os créditos desta invenção foram para os cientistas Friedrich Meyer, Hans Spanner, e Edmund Germer. Mais tarde esta patente foi comprada pela GE que se tornou uma das maiores vendedoras deste produto. Esta tecnologia foi apresentada ao público pela primeira vez em 1937, na Feira Mundial de Nova York. Foram introduzidas no mercado a partir de 1938. Estas lâmpadas, tubulares, não eram conectadas diretamente à fonte de energia elétrica, e sim o reator delas, um componente eletromecânico responsável pela partida e proteção do circuito das lâmpadas, uma vez que ele controla a corrente. Esta novidade é muito mais eficiente do que as lâmpadas incandescentes e embora emita luz fria, tem vida útil muito superior e é indicada para o comércio, indústrias, escritórios e em alguns casos, também pode ser útil para iluminação de vias públicas.

Arthur H. Compton, pesquisador da *Westinghouse*, desenvolveu a primeira lâmpada de vapor de sódio na década de 1930. Ela era de baixa pressão e seu tubo de descarga continha os gases neônio e argônio e possuía forma de “U”. Seu acionamento, com catodos aquecidos, reator e *starter* era semelhante ao da lâmpada fluorescente. Seu objetivo era melhorar a iluminação pública com uma luz mais amarelada e com um rendimento superior à fluorescente. Uma desvantagem era o tempo para acender a lâmpada que demorava até dez minutos.

Elmer Friedrich e Wiley Emmet patentearam a lâmpada halógena em 1959. Esta lâmpada pode ser considerada um modelo melhorado de lâmpada incandescente. Ela também utiliza o filamento de tungstênio, mas ele fica dentro de um invólucro de quartzo. Dentro deste invólucro ocorre uma ‘reciclagem’ graças à presença de um gás halógeno. Este gás possui uma propriedade bastante interessante. Ele reage com o vapor de tungstênio a

elevadas temperaturas. Conforme esta mistura se evapora, os átomos de tungstênio são depositados de volta ao filamento, garantindo uma vida útil bem maior à lâmpada. Como a incandescência está relacionada com a temperatura a que é submetido o filamento de tungstênio é possível aquecê-lo mais e gerar mais luz. A desvantagem é que há também o aumento do calor emitido (perda de energia). As Figuras 4.6 e 4.7 mostram um esquema da lâmpada halógena e suas principais formas de apresentação, respectivamente.

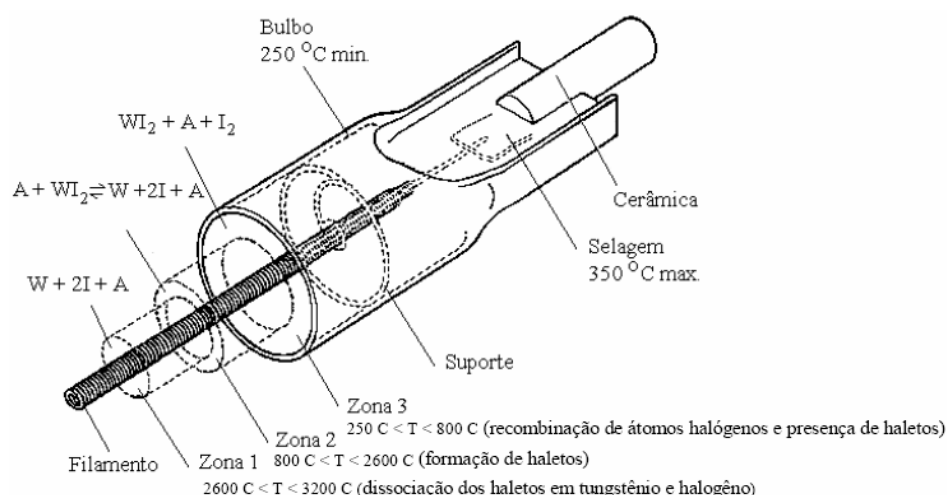


FIGURA 4.6 – ESQUEMA DA LAMPADA HALÓGENA MODERNA
 Fonte: Apostila Luminotécnica e Lâmpadas Elétricas [15]

Em 1960 o engenheiro Fredrick Moby construiu um modelo melhor de halógena que pôde ser adaptada ao mesmo soquete da incandescente. Posteriormente, já na década de 70, a General Electric conseguiu aperfeiçoar o método de fabricação destas lâmpadas e elas foram incorporadas de forma mais consistente no mercado, também com variações que incluem reator incorporado e revestimento refletor. Estas lâmpadas são muitas vezes chamadas simplesmente de lâmpadas dicróicas, devido ao seu refletor interno.

O refletor dicróico é um refletor espelhado especial. Ele reflete a radiação visível e absorve a radiação infravermelha, que gera calor. Este tipo de espelho permite uma redução da ordem de 70% da radiação infravermelha, reduzindo o aquecimento do ambiente [15]. Alguns tipos de lâmpadas halógenas estão representados na Figura 4.7. As duas primeiras lâmpadas da parte superior, da esquerda para a direita, são lâmpadas com refletor dicróico.



FIGURA 4.7 - MODELOS DE LÂMPADAS HALÓGENAS DA PHILIPS
 Fonte: Catálogo Philips [16]

No ano de 1962 foi criado o primeiro LED indicador de luz vermelha pelo pesquisador Nick Holonyak Jr, que chegou a afirmar para a revista *Reader's Digest* (edição de fevereiro de 1963) que a lâmpada incandescente estava condenada. Este LED ainda possuía uma baixa intensidade luminosa, cerca de 10 micro candelas ($1.000 \text{ mcd} = 12,6 \text{ lúmens}$), mas possuía dimensões reduzidas. Sua principal aplicação era como sinalizador luminoso. Este LED ficou conhecido como o LED de 5 mm. (diâmetro da 'cabeça' do LED) [24]. Sua representação pode ser vista na Figura 4.8.

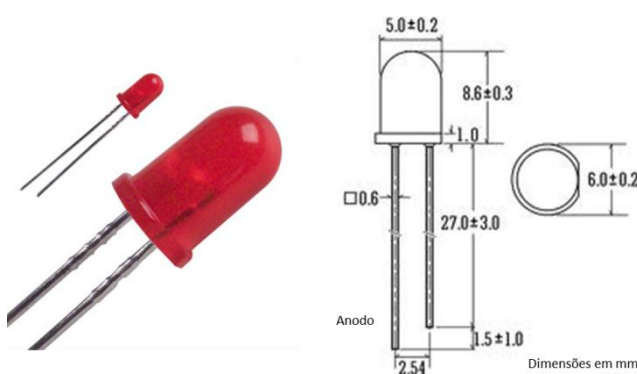


FIGURA 4.8 - REPRESENTAÇÃO DO LED VERMELHO
 Fonte: Pesquisa de imagens Google. 01/11/12

Em 1966 uma boa tecnologia surgiu: a lâmpada de sódio de alta pressão. Ela é mais econômica do que as suas concorrentes de mercúrio, fluorescentes ou incandescentes e apresenta uma temperatura de cor mais natural que a de sódio de baixa pressão. Sua principal

aplicação está voltada para iluminação de vias públicas devido à baixa poluição luminosa¹⁰. A mistura de sódio, mercúrio e gases nobres auxiliam no acionamento da lâmpada, que ocorre através de um reator e um ignitor para elevar a tensão. O principal desafio no desenvolvimento desta lâmpada foi criar um tubo de descarga robusto, para suportar o alto poder de corrosão do sódio. O tubo de descarga de quartzo foi substituído por um tubo de cerâmica. Seu tempo de acendimento é, em média, de dois minutos e tem um rendimento de 120 lúmens por watt. Atualmente este é o tipo de lâmpada mais utilizado em vias públicas [14]. A Figura 4.9 contém os principais tipos de lâmpadas de vapor de sódio comercializadas.



FIGURA 4.9 - LÂMPADAS DE VAPOR DE SÓDIO DE ALTA PRESSÃO PHILIPS

Fonte: Catálogo Philips [16]

Algumas variações foram criadas logo depois, como as lâmpadas de multivapores metálicos, vapor metálico e a mista. A primeira é uma evolução da lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão. A segunda teve seu uso difundido após uma demonstração ocorrida nas Olimpíadas de Munique, em 1972. Com um bom índice de reprodução de cor e bom rendimento, tem aplicações semelhantes às lâmpadas de vapor de sódio. A lâmpada mista é uma fonte de luz híbrida, ou seja, ela possui um filamento incandescente dentro de um tubo de descarga com mercúrio similar ao da lâmpada de mercúrio de alta pressão. Seu esquema

¹⁰Tipo de poluição causada pela luz excessiva ou obstrutiva criada por humanos. Ela interfere nos ecossistemas, causa efeitos negativos à saúde, ilumina a atmosfera das cidades diminuindo a visibilidade das estrelas e interfere na observação astronômica.

está representado na Figura 4.10. Como o acendimento da lâmpada ocorre por incandescência ela não precisa de reator, podendo ser conectada diretamente à rede elétrica, em 220 V. Embora ela não tenha um bom índice de reprodução de cor (na escala que vai de 0 a 100, ela não ultrapassa os 70) ela tem uma eficiência, em média, 8 vezes superior à incandescente. No Brasil esta lâmpada é utilizada no interior de estabelecimentos comerciais.

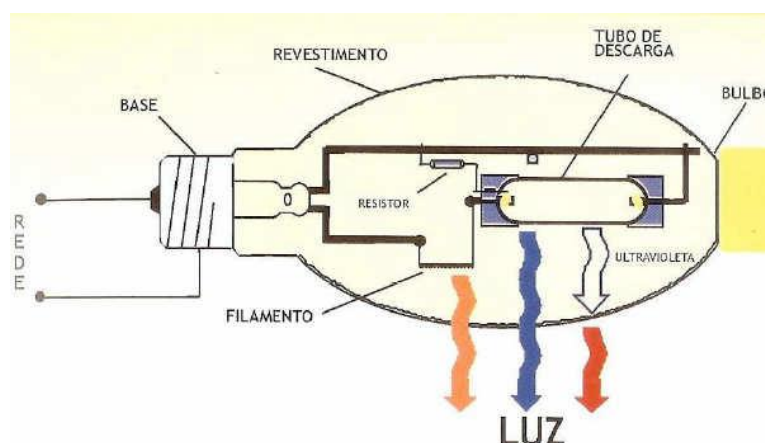


FIGURA 4.10 – ESQUEMA DA LÂMPADA MISTA
Fonte: Apostila Luminotécnica e Lâmpadas [15]

A lâmpada fluorescente compacta (LFC) chegou ao mercado algumas décadas mais tarde, por volta de 1980 e revolucionou a indústria da iluminação. De tamanho similar à das lâmpadas incandescentes e com a mesma base (soquete), a LFC trazia o reator incorporado e o tubo foi apresentado em forma de espiral ou ‘dobrado’. Prometendo uma economia de até 80% se comparada com a incandescente, sua principal barreira era o preço. Um esquema de uma LFC é mostrado na Figura 4.11.

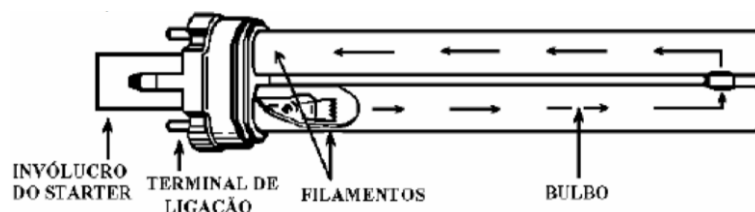


FIGURA 4.11 – LÂMPADA FLUORESCENTE COMPACTA
Fonte: Apostila Luminotécnica e Lâmpadas [15]

No Brasil, entretanto, esta tecnologia só foi de fato incorporada quase 20 anos depois. A Europa e os Estados Unidos foram os principais consumidores. Com suas matrizes

energéticas predominantemente poluentes e dependentes da importação de combustível para a alimentação de suas termelétricas, além de serem grandes potências econômicas, estes países foram responsáveis pelo desenvolvimento desta tecnologia muito mais econômica. Uma das desvantagens das lâmpadas fluorescentes compactas era a distorção das cores que ela provocava. Isso era devido ao seu baixo IRC, que não ultrapassava os limites de 70. Mas isso mudou e muito no século XXI, como será visto adiante. Em 2009 estimou-se que as lâmpadas fluorescentes, tubulares e compactas, representavam 80% da iluminação artificial mundial.

Já no final do século XX outras pesquisas avançaram. Embora bastante eficientes, as lâmpadas fluorescentes têm um grande problema: seu descarte. Contendo mercúrio em seu interior, seu descarte sem tratamento adequado, causa riscos às pessoas e ao ambiente, podendo comprometer as gerações futuras. Assim, cientistas dos principais fabricantes e universidades de todo o mundo investem principalmente em estudos com o LED, que não possui resíduos tóxicos e tem grande potencial para melhorar ainda mais a sua eficiência energética.

O Gráfico 4.2 apresenta um resumo da evolução das lâmpadas.

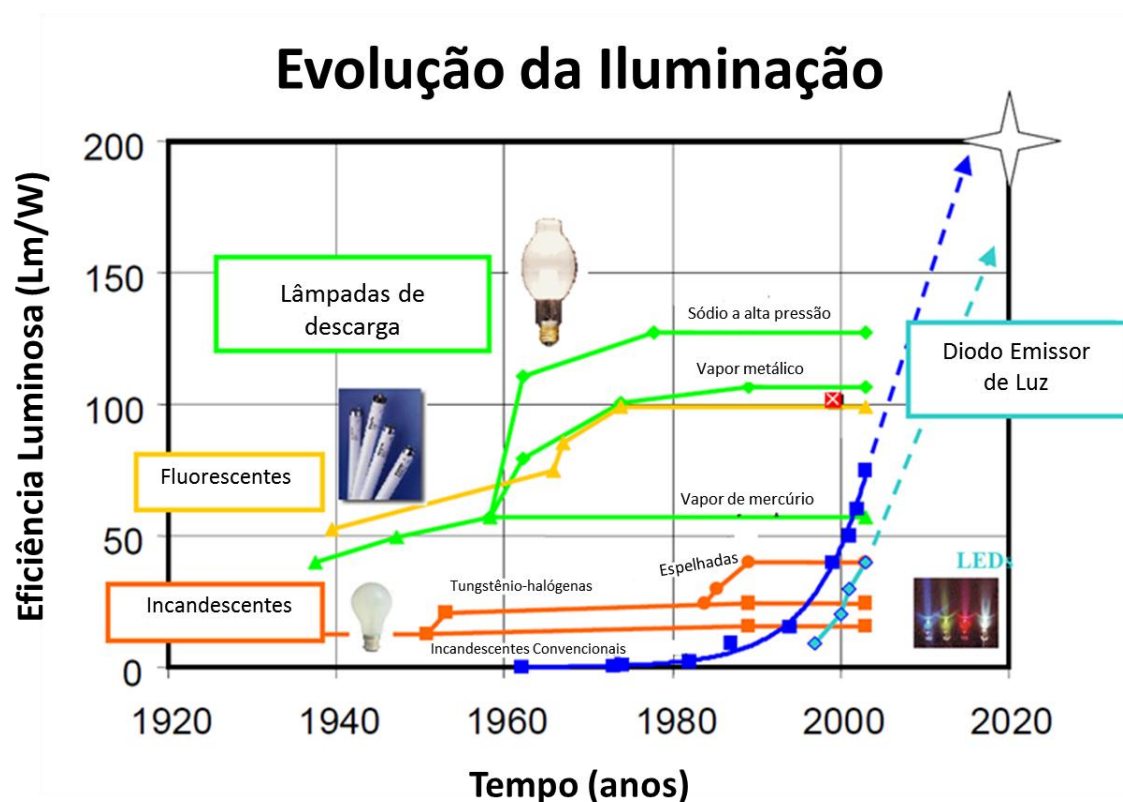


GRÁFICO 4.2 - O DESENVOLVIMENTO DAS LÂMPADAS ELÉTRICAS
 Fonte: Philips Lumileds [33] (Adaptação da autora)

4.3 O Futuro do Mercado da Iluminação no Século XXI

No Brasil, especificamente, a virada para o século XXI foi marcada pela crise energética, quando o país sofreu o racionamento energético. O governo então criou medidas para incentivar a economia de energia elétrica. Clientes que alcançassem a meta de redução ganhavam bônus em forma de desconto na conta de energia. Este incentivo foi decisivo para que as lâmpadas fluorescentes compactas conquistassem os consumidores brasileiros. Estas lâmpadas já estavam presentes nas prateleiras nacionais, mas o custo elevado com relação a incandescente, sempre fazia o consumidor optar pela solução aparentemente mais barata. Outro bom fruto desta medida foi a conscientização dos consumidores com relação a gastos com energia elétrica. As lâmpadas fluorescentes mais baratas não possuíam um bom índice de reprodução de cor, mas a compensação financeira obtida com a aquisição das LFCs realmente deixou os consumidores entusiasmados.

Nessa mesma época, as pesquisas com LEDs já estão bastante avançadas e já é possível a criação de LED com emissão de qualquer cor de luz, inclusive a luz branca, que é uma combinação com o LED azul de alto brilho. Os modelos mais populares, embora bastante eficientes, com uma média de 120 lúmens por watt, são de baixa potência, variando de 1 W a 5 W. Os setores automobilístico e industrial já absorveram os LEDs para várias aplicações e a produção ocorre em larga escala. Voltado ainda para uma pequena parcela de consumidores, já estão presentes no mercado internacional LEDs com potência de até 300 W, mas com custos ainda muito elevados e com IRC entre 80 e 90.

A partir da grande crise financeira que acometeu o mundo, mas principalmente os países desenvolvidos, e o crescimento econômico e social dos países em desenvolvimento, como o Brasil, em meados de 2008, ocorreu uma nova dinâmica no setor da iluminação. Os grandes fabricantes mundiais de lâmpadas e soluções para o mercado da iluminação voltaram suas atenções para os países em desenvolvimento.

No caso do Brasil, o setor de iluminação é agora o novo foco de várias empresas nacionais e multinacionais, que pretendem investir no país. Segundo a Abilux – Associação Brasileira da Indústria da Iluminação [17], o país deverá receber três fábricas de lâmpadas nos próximos anos. O principal produto deve mesmo ser a lâmpada de LED, que graças aos constantes avanços tecnológicos tem potencial para substituir vários tipos de lâmpadas existentes, pois existem pesquisas que viabilizam a utilização do LED para quase todas as

aplicações. As empresas citadas são a nacional FLC e as multinacionais *General Electric* e Philips, mas há a possibilidade de que outras empresas também passem a produzir lâmpadas de LED em território nacional. O presidente da Abilux, Carlos Eduardo Uchôa Fagundes, aposta que ‘o consumo de LED no Brasil vai crescer astronomicamente nos próximos anos’.

A matriz energética brasileira, com grande potencial de expansão, o cenário econômico favorável e claro as dimensões geográficas do Brasil são os maiores atrativos para as empresas do setor. O governo brasileiro também determinou através da ANEEL¹¹, a retirada a partir de 2013, de forma gradual, das lâmpadas incandescentes do mercado brasileiro [19].

A FLC possui seu pólo industrial na China, onde são produzidas lâmpadas compactas fluorescentes, halógenas e lâmpadas de alta eficiência, em sua maioria. Há uma pequena produção de lâmpadas de LED, mas o custo final destas lâmpadas ainda está muito alto. Este é um dos motivos para trazer a fabricação deste tipo de lâmpada para o Brasil. A FLC detém mais de 30% do mercado nacional de fluorescentes e acumulou um crescimento de 16% entre 2010 e 2011. A empresa ainda não escolheu a localização desta nova fábrica [17].

Já a Philips definiu que sua fábrica de lâmpadas de LED no Brasil será na cidade de Varginha, em Minas Gerais, mas ainda não tem data prevista para o início da operação, que anteriormente estava agendada para 2012. Esta será a oitava unidade de LED da Philips.

Pensando na iluminação pública e em *outdoors*, a GE também está decidindo a localização de sua segunda unidade de montagem de lâmpadas LED na América Latina. Alguns itens serão trazidos da China. Segundo cálculos da GE, hoje no Brasil há 15 milhões de pontos de iluminação que precisam ser renovados. Sobre isso, o presidente da GE Lionel Ramirez afirmou: ‘Esse é um processo definitivo de transição de tecnologias. E é nosso foco’.

Há ainda outras empresas que fazem projeções de ampliar seus negócios na área de iluminação com LEDs no Brasil, como a OSRAM, pertencente ao grupo Siemens. Além de ser uma das poucas fabricantes de lâmpadas no Brasil, ela possui mais de 50% de sua produção em incandescentes, o que sugere que ela deva investir na fabricação de LEDs para suprir essa lacuna, embora a empresa ainda não tenha se decidido oficialmente sobre isso.

¹¹ ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica é uma agência reguladora vinculada ao Ministério das Minas e Energia, com a finalidade de regular e fiscalizar a produção, transmissão e comercialização de energia elétrica, em conformidade com as Políticas e Diretrizes do Governo Federal.

Há ainda um aspecto que deve ser considerado: o Brasil não tem produção nacional de semicondutores, o que levará as empresas a importarem o chamado *LED Component*, o principal componente das lâmpadas LED.

Atualmente o custo de uma lâmpada de LED equivalente a uma incandescente de 60 watts custa, em média, R\$ 80,00. Mas ela também consome até 80% menos energia que as demais lâmpadas, além de possuir uma vida útil de até 50 mil horas. Os investimentos na fabricação destas lâmpadas dentro do país vão reduzir o custo e permitir uma utilização mais sustentável da energia elétrica no Brasil.

Desde 2009 existe uma lei que vigora em toda a União Europeia para promover a substituição de lâmpadas incandescentes por opções mais eficientes. De acordo com o artigo Questão de Luz [22] a meta é reduzir o consumo de energia elétrica em 80 terawatts por hora até 2020. Este consumo é equivalente ao consumo da Bélgica. Está iniciativa também procura reduzir a emissão de CO₂ na atmosfera. (ver tabela de emissão de CO₂ que se encontra no Capítulo 3).

A Abilux fez um estudo relacionando o faturamento do setor e o consumo de lâmpadas no mundo, e acredita que com o fim das lâmpadas incandescentes o LED terá espaço para se expandir no mercado, conforme mostra a Figura 4.12.

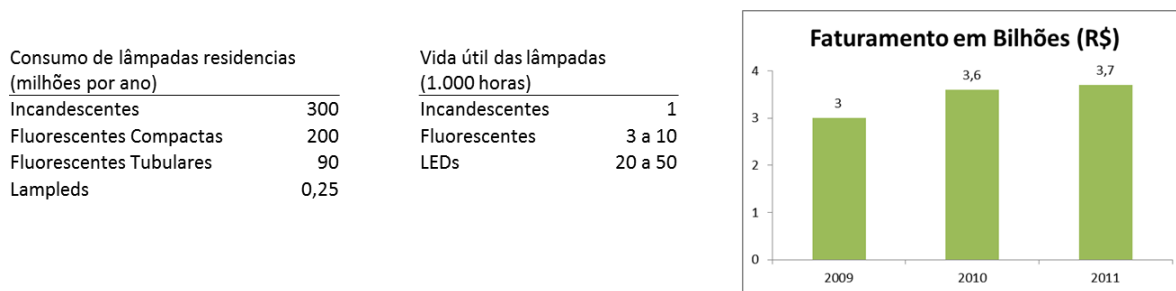


FIGURA 4.12 - AVALIAÇÃO DO MERCADO DE ILUMINAÇÃO

Fonte: Abilux [17]. Adaptação da autora

Desde 30 de junho de 2012 o Brasil proibiu a produção e importação de lâmpadas incandescentes com potencia de 150 W e 200 W e também daquelas que não tiverem sua eficiência energética determinada na Portaria nº 1007 de dezembro de 2010, do Ministério de Minas e Energia (MME). A venda destas lâmpadas, entretanto, ainda está autorizada para que fabricantes importadores e varejistas acabem com seus estoques. O limite para os fabricantes e importadores vai até o final de 2012. Já os varejistas estarão proibidos de vender as lâmpadas de 150 W e 200 W a partir 01º de julho de 2013. O objetivo da Portaria é

aumentar a participação de tecnologias mais eficientes. A substituição é gradativa e pretende acabar com a comercialização de incandescentes até 30 de junho de 2017. informações estão disponíveis no Portal Brasil [19], canal *online* de informação do governo brasileiro.

Há ainda a Portaria nº 1008, também de dezembro de 2010 do MME que especifica valores mínimos de eficiência para as LFC. Os prazos para cumprir as exigências são os mesmos para os fabricantes das incandescentes e fluorescentes [19].

As lâmpadas de LED são, enfim, uma realidade mundial. No Brasil, estes produtos ainda são importados e têm um custo bastante elevado. O mercado da iluminação já tem uma fatia considerada sendo ocupada por esta tecnologia. Segundo dados da *Strategies Unlimited* [30], empresa líder mundial em pesquisa de mercado em dispositivos fotônicos e semelhantes, em 2011 a receita com a produção de LEDs utilizados em iluminação cresceu 40%, principalmente pelos projetos de retrofit¹² de sistemas de iluminação, iluminação comercial e industrial e também aplicações ao ar livre.

A crise financeira que ainda persiste nos países desenvolvidos e a dificuldade em reduzir os preços desta tecnologia, fez com que este crescimento não se repetisse em 2012. A previsão é de que o mercado de lâmpadas de LED continue gerando os mesmos 2 bilhões de dólares anuais de 2011. Acredita-se que a retração do mercado seja compensada pelo crescimento da exposição do produto no varejo e em iluminação em áreas externas. Os gráficos 4.3 e 4.4 mostram as aplicações de LED por setor e os tipos de LED, por potência, em 2011, respectivamente.

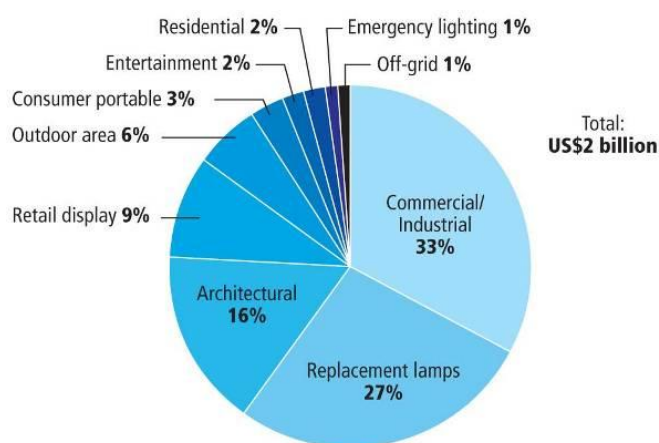


GRÁFICO 4.3 – PARTICIPAÇÃO DOS TIPOS DE LÂMPADAS DE LED EM 2011
Fonte: *Strategies Unlimited* [30]

¹² Termo muito utilizado em iluminação. Significa reforma.

Após o acidente nuclear de Fukushima no Japão, em março de 2011, o Japão foi o único país onde o LED se tornou a opção principal para a substituição de lâmpadas, impulsionado pelo racionamento energético imposto pelo governo local.

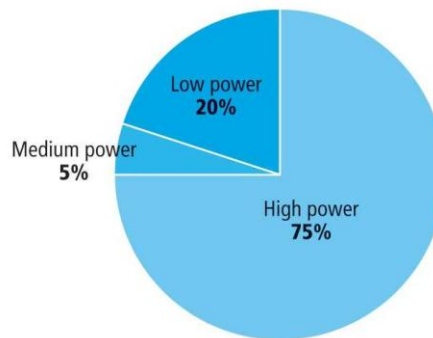


GRÁFICO 4.4 - MERCADO DA ILUMINAÇÃO LED POR TIPO EM 2011

Fonte: *Strategies Unlimited* [30]

Os fabricantes de LED estão ampliando suas linhas de produtos visando incluir pequenas alterações nos chips para reduzir o calor dentro do LED e assim garantir uma eficiência ainda maior e simplificar o design de luminárias direcionais. Os módulos de LED que possuem driver integrado para aumentar a potência elétrica também vão facilitar o design de luminárias LED. As principais empresas envolvidas são Philips Lumileds, GE, Osram e Nichia. A previsão é de que os LEDs de média potência sejam os que apresentem o maior crescimento, embora a maior receita ainda deva ser comandada pelos LEDs de alta potência, que estão principalmente substituindo as lâmpadas halógenas PAR. A Strategies Unlimited também divulgou uma estimativa de crescimento dos mercados de iluminação, que está ilustrada no Gráfico 4.5.

Uma das principais barreiras para a adoção de iluminação com LEDs, o alto custo, pode ser compensado por descontos em serviços públicos ou mesmo pela economia gerada. Em alguns países, como nos Estados Unidos, descontos por eficiência energética estão incentivando a utilização de LEDs em aplicações industriais.

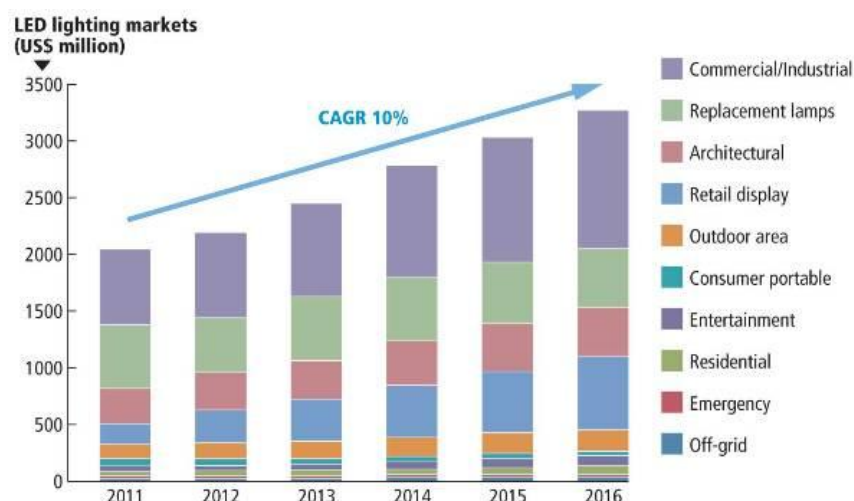


GRÁFICO 4.5—PREVISÃO DE CRESCIMENTO DOS MERCADOS DE ILUMINAÇÃO LED
 Fonte: *Strategies Unlimited* [30]

O mesmo relatório da *Strategies Unlimited*s apontou que o segmento comercial e industrial do LED foi o mais expressivo em 2011. Na previsão para 2012-2016, os segmentos mais fortes serão os da iluminação com LED, seguidos dos LEDs sinalizadores e os LEDs utilizados na indústria automobilística.

O mercado da iluminação promete ainda outras tecnologias de ponta além do LED para iluminar o futuro. As principais novidades são o OLED, um tipo de LED orgânico e o COLED, uma variação do OLED, descritos com mais detalhes nas próximas seções.

4.3.1 OLED – Diodo Orgânico Emissor de Luz [23]

Os diodos orgânicos emissores de luz, são capazes de criar iluminação duradoura e eficiente com ampla variedade de cores, assim como os seus primos na família dos LEDs, que são inorgânicos. Mas ao contrário dos LEDs, que oferecem pontos de luz como os das lâmpadas incandescentes comuns, os OLEDs criam luz difusa e uniforme em superfícies de material ultrafino, que um dia se tornarão flexíveis.

Princípio de funcionamento

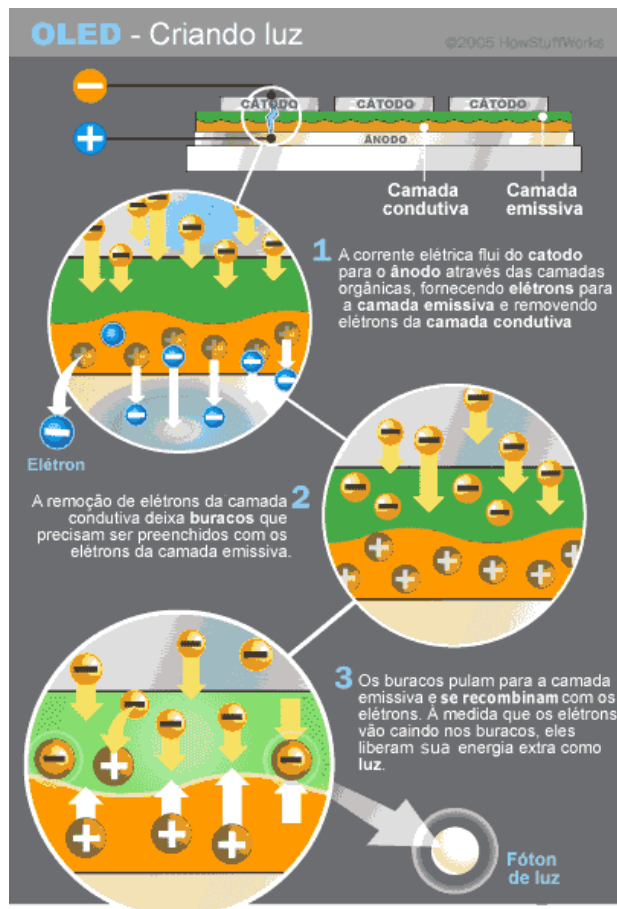


FIGURA 4.13 - PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO OLED [23]

A cor da luz emitida vai depender do tipo de molécula orgânica na camada emissiva. Os fabricantes colocam vários tipos de filmes orgânicos no mesmo OLED para fazer displays coloridos.

Já a intensidade da luz está diretamente relacionada com a intensidade da corrente elétrica aplicada. Quanto maior for a corrente, maior será o brilho da luz.

Principais Características

As camadas orgânicas de plástico do OLED são mais finas, leves e flexíveis do que as camadas cristalinas do LED ou LCD. Desta forma, o substrato do OLED pode ser flexível, ao invés de rígido e podem ser fabricados com plástico, no lugar do vidro dos LEDs e LCDs.

Os OLEDs são mais brilhantes. As camadas condutiva e emissiva de um OLED são superfina, podendo ser sobrepostas. Em comparação, os LEDs e os LCDs precisam do vidro como suporte e o vidro absorve alguma luz. Os OLEDs não precisam de vidro.

Os filmes de OLED vermelho e verde apresentam longa vida útil, de 10.000 a 40.000 horas, mas os filmes azuis têm uma vida bastante curta, de pouco mais de 1.000 horas.

O processo de fabricação ainda é muito caro.

Hoje, telas de OLEDs estão em uso em alguns celulares, como o *Samsung Impression*, e em pequenos e caros televisores ultrafinos da Sony e, em breve, da LG. As telas OLED geram imagens de alta resolução e oferecem ângulos de visão mais largos que o do LCD.

Por conta da luz difusa e regular que os OLEDs emitem, devem complementar e não substituir outras tecnologias eficientes do ponto energético, como LEDs, lâmpadas fluorescentes compactas ou lâmpadas incandescentes avançadas que criam luz a partir de um único e pequeno ponto. Os painéis de OLED podem ser tão flexíveis que as empresas de iluminação imaginam folhas de iluminação que poderão ser enroladas em torno de colunas. A *General Electric* criou uma árvore de Natal envolta em painéis OLED, como experiência.



FIGURA 4.14 - EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DO OLED.

Fonte: Pesquisa de imagens Google. 06/11/12.

O OLED também pode, no futuro, ser incorporado a janelas de vidro; quase transparente com a luz apagada, o vidro se tornaria opaco com ela acesa. É possível obter folhas de OLED com espessura de apenas 1,8 mm.

Porém os OLEDs ainda enfrentam algumas barreiras, não só pelo alto preço, mas também pela qualidade da iluminação.

4.3.2 COLED – Diodo Orgânico Emissor de Luz com Cavidade [25]

Embora os LEDs sejam, pelo menos no momento, a grande aposta do mercado para substituir as lâmpadas incandescentes e fluorescentes, além do OLED, outras tecnologias vêm sendo estudadas. O *Stanford Research Institute* - SRI - anunciou em 2009 que obteve resultados impressionantes em suas pesquisas: o COLED.

Segundo os criadores da tecnologia, os testes realizados mostraram que o COLED é capaz de emitir uma intensidade de luz cinco vezes superior ao OLED.

Os novos LEDs orgânicos partem do mesmo princípio que as telas OLED, com a adição de cavidades óticas, espelhos paralelos e contrapostos que evitam a fuga de luz para outro ponto que não seja a saída do dispositivo. Dessa forma, o rendimento se torna muito maior, e é possível iluminar uma área maior com um gasto de energia menor. A descoberta é fruto da união entre as companhias japonesas *Showa Denko K.K. (SDK)*, que trabalha no setor químico, a *Itochu PlasticIc. (CIPS)* e o instituto sem fins lucrativos *SRI (Stanford Research Institute)* e foi divulgada em 2009.

A maior preocupação dos criadores do COLED foi encontrar uma tecnologia capaz de economizar energia, ao mesmo tempo em que diminuísse os níveis de poluição. Durante os testes realizados, a nova tecnologia foi capaz de emitir 30 lm/W de energia consumida ao emitir luz azul, e 80 lm/W para luz verde, resultados muito eficientes. Para que a descoberta possa ser utilizada em dispositivos de iluminação como lâmpadas e faróis, o desafio dos cientistas agora é conseguir obter a luz branca utilizando o COLED.

Para produzir luz branca, é necessária uma combinação das estruturas responsáveis por emitir luz nas cores vermelha, verde e azul. Isto não representa motivo de desânimo para os cientistas responsáveis, já que eles foram capazes de reproduzir a cor azul, normalmente a mais problemática de todas quando se utiliza a tecnologia baseada em LEDs.

Vale lembrar que como ainda se trata de algo bastante novo, irá demorar bastante até que esta tecnologia seja mais bem desenvolvida para alcançar preços mais competitivos.

A SUSTENTABILIDADE TÉCNICA E AMBIENTAL DO LED

O mundo capitalista sempre incentivou o consumo como uma forma de fazer a “economia girar”, mas as consequências deste consumo desregrado sobre a natureza estão fazendo o universo caminhar em outra direção. Os riscos de esgotamento de combustível, água potável, extinção de várias espécies de animais e plantas na natureza, além da contaminação do ar trouxeram à tona a possibilidade de não haver um futuro também para a espécie humana. Os governos do mundo todo estão unidos concentrando seus esforços em como mudar esta realidade, em como tornar o mundo de hoje sustentável, ou seja, em como torná-lo viável para as gerações futuras.

Se existe uma tecnologia que combina perfeitamente com esta nova visão mundial, esta tecnologia é o LED. Baixo consumo de energia elétrica, composição não tóxica e vida útil de até 50.000 horas (aproximadamente 25 anos se for considerado uma utilização de 6 horas por dia) são as principais características do produto. Neste capítulo serão apresentadas estas e outras vantagens das lâmpadas de LED e também uma comparação do seu desempenho com as tecnologias que deverão ser substituídas e os principais produtos disponíveis no mercado.

5.1 Eficiência Energética

Um dos grandes trunfos das lâmpadas de LED são as características dos semicondutores. Como não há necessidade de aquecer um filamento ou provocar uma descarga elétrica, o consumo de energia é muito baixo. Basta apenas promover a passagem de corrente pelo *chip* semicondutor, que possui baixa tensão de condução, entre 2,5 V e 4,0 V. Ao contrário de algumas tecnologias que precisam de dispositivos para elevar a tensão, como é o caso das lâmpadas de vapor de sódio, as lâmpadas de LED necessitam de um dispositivo (um circuito eletrônico) para reduzir a tensão a níveis que não danifiquem o *chip* semicondutor. As características do *chip* e a estrutura da lâmpada colaboram decisivamente

sobre a alta eficiência energética deste tipo de lâmpada, devido à alta intensidade de luz emitida pelo fenômeno da eletroluminescência.

Nos catálogos de lâmpadas em geral, normalmente a eficácia luminosa das lâmpadas é fornecida em lúmens por watt. Entretanto, os LEDs de alto brilho e alguns tipos de lâmpadas halógenas, que emitem fluxo luminoso em um ângulo de abertura pequeno, são especificados quanto a sua intensidade luminosa, em candelas para aquele fecho de abertura determinado. Uma comparação de lâmpadas de LED com outras tecnologias utilizadas para a mesma aplicação evidencia a superioridade do LED neste quesito. Todas as comparações foram realizadas com lâmpadas da Philips [16].

Grupo 1: Substituição de lâmpadas halógenas

Principais aplicações: Adequadas especialmente para áreas públicas, como saguões, corredores, poços de escada e restaurantes/bares.

TABELA 5.1 - COMPARAÇÃO ENTRE LÂMPADAS DO GRUPO 1

Sub-grupo	Tecnologia	Modelo	Potência (W)	Intensidade Luminosa (cd)	Ângulo de abertura (°)	Economia Energética	Temperatura de Cor (K)	Vida Útil (h)	IRC	Preço (reais)
1	Halógena	Halógena PAR20	50	850	25	86%	2700	2500	100	R\$ 47,03
	LED	MASTER LED PAR20	7	1000	25		2700	45000	80	R\$ 85,34
2	Halógena	Halógena PAR30S	75	1800	30	84%	2700	2500	100	R\$ 44,77
	LED	MASTER LED PAR30S	12	2250	25		2700	45000	80	R\$ 244,61
3	Halógena	Halógena PAR38	75	3200	30	77%	2900	2500	100	R\$ 48,92
	LED	MASTER LED PAR38	17	3400	25		2700	45000	80	R\$ 292,44



FIGURA 5.1 - MODELOS DAS LÂMPADAS DO GRUPO 1

Fonte: Catálogo Philips [16]

Grupo 2: Substituição de lâmpadas incandescentes

Principais aplicações: Iluminação geral, predominantemente residencial.

TABELA 5.2 - COMPARAÇÃO ENTRE LÂMPADAS DO GRUPO 2

Sub-grupo	Tecnologia	Modelo	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Eficiência luminosa (lm/W)	Economia Energética	Temperatura de Cor (K)	Vida Útil (h)	IRC	Preço (reais)
1	Incandescente	Standard 25W	25	260	10	80%	2700	1000	100	R\$ 1,90
	LED	VisionLED A55 5W	5	350	70		2700	25000	80	R\$ 69,90
2	Incandescente	Standard 40W	40	415	10	83%	2700	1000	100	R\$ 1,90
	LED	VisionLED A60 7W	7	350	50		6500	25000	80	R\$ 78,50
3	Incandescente	Standard 60W	60	600	10	80%	2700	1000	100	R\$ 1,90
	LED	Master LED A19	12	806	67		2700	25000	80	R\$ 149,35



FIGURA 5.2 - MODELOS DAS LÂMPADAS DO GRUPO 2

Fonte: Catálogo Philips [16]

Grupo 3: Substituição de lâmpadas fluorescentes tubulares

Principais aplicações: Parques de estacionamento cobertos, armazéns, escritórios e áreas de transporte e distribuição.

TABELA 0.3 - COMPARAÇÃO ENTRE LÂMPADAS DO GRUPO 3

Sub-grupo	Tecnologia	Modelo	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Eficiência luminosa (lm/W)	Economia Energética	Temperatura de Cor (K)	Vida Útil (h)	IRC	Preço (reais)
1	Fluorescente	TL-D Standard	18	1050	58	6%	4000	15000	72	R\$ 26,60
	LED	MASTER LEDtube	17	1250	74		4000 ou 6500	40000	85	R\$ 201,31
2	Fluorescente	TL-D Standard	36	2500	69	11%	4000	15000	72	R\$ 38,85
	LED	MASTER LEDtube	32	2500	78		4000 ou 6500	40000	85	R\$ 416,69



FIGURA 5.3 - MODELOS DAS LÂMPADAS DO GRUPO 3

Fonte: Catálogo Philips [16]

Grupo 4: Substituição de lâmpadas de vapor de sódio

Principais aplicações: Iluminação pública de rodovias, ruas, etc.

TABELA 5.4 - COMPARAÇÃO ENTRE LÂMPADAS DO GRUPO 3

Tecnologia	Modelo	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Eficiência luminosa (lm/W)	Economia Energética	Temperatura de Cor (K)	Vida Útil (h)	IRC	Preço (reais)
Vapor de Sódio	SON-T	70	6600	94		2000	22.000	25	R\$ 1.449,75
LED	Green Line 6800	52	6832	94	26%	3000	100.000	76	R\$ 2.663,17

Obs: Os valores foram calculados com a luminária *Selenium* para a lâmpada de vapor de sódio e com a luminária *Koffer²* para o LED.

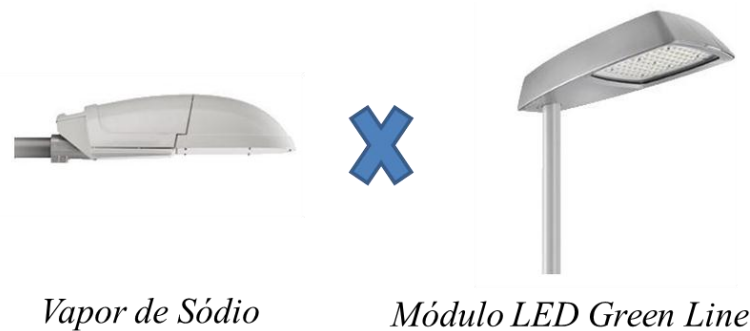


FIGURA 5.4 - MODELOS DAS LÂMPADAS DO GRUPO 4

Fonte: Catálogo Philips [16]

Esta comparação foi realizada utilizando-se o Philips CAT, programa com catálogo de luminárias e lâmpadas Philips [16]. O programa retorna uma folha de dados para o conjunto luminária+ lâmpada, que contém as informações de fluxo luminoso e potência do conjunto. O módulo LED é incorporado à luminária, por isso, os resultados são do grupo. A luminária usada para a lâmpada de vapor de sódio é o modelo *Selenium*. A outra luminária é a *Koffer²*.

A solução LED empregada é um módulo integrado. O catálogo não é explícito quanto a potência do módulo para a emissão do fluxo luminoso considerado, tão pouco o catálogo do módulo LED. O valor de potência do módulo foi estimado, considerando que a lâmpada representa 85% da potencia total do sistema.

5.2 A Qualidade da Luz

O índice de reprodução de cores dos LEDs não é o ideal. Como já foi mencionado no Capítulo 2, para que o seu IRC seja igual a 100, o LED deve possuir um espectro luminoso idêntico ao do Sol.

Como o LED é originalmente monocromático, é necessária uma mistura muito cuidadosa de LEDs monocromáticos para obter um nível satisfatório para o IRC. Atualmente, O IRC para os LEDs está similar ao das fluorescentes, aproximadamente 80, mas existem à venda LEDs com IRC na faixa dos 70, principalmente os produtos destinados à iluminação de rodovias, estradas e ruas, valor superior ao da maioria das lâmpadas de vapor de sódio destinadas à mesma aplicação.

A divisão da OSRAM responsável pelo desenvolvimento de semicondutores tem apostado na combinação de LEDs de âmbar com LEDs azuis compostos de fósforo, com uma temperatura de cor equivalente a luz branca quente, o que garante um IRC elevado associado a uma alta eficiência. Esta pesquisa foi apresentada em Las Vegas, durante o evento Salão LED em agosto de 2012. Os resultados levaram a IRC superior a 90 e com uma eficiência luminosa maior que 90 lm/W, um recorde. Até então, quando se conseguia produzir um LED com IRC tão elevado, havia perda significativa na eficiência luminosa.

No entanto, Marc Dyble, gerente comercial desta divisão do OSRAM, alertou para algumas ressalvas que devem ser feitas a essa nova abordagem. Por exemplo, para conseguir este elevado IRC com segurança, deve ser necessária uma câmara de mistura óptica para obter a consistência de cor necessária. Para melhorar a estabilidade do chip, ele sugere a instalação de sensores de luz e temperatura e circuitos de compensação.

Essa característica da emissão de luz monocromática do LED traz as desvantagens citadas acima, mas também algumas vantagens. Além de possuir tons variados, o LED não emite raios ultravioleta e infravermelho, por isso não prejudica a pele das pessoas e não gera calor, reduzindo o consumo de ar condicionado.

A qualidade da luz é a principal vantagem das lâmpadas de LED sobre as de vapor de sódio. A emissão de ondas de luz de uma luminária com lâmpada de vapor de sódio de alta pressão é comparada com a de uma lâmpada de LED de alto brilho. O Gráfico 5.1 mostra essa diferença.

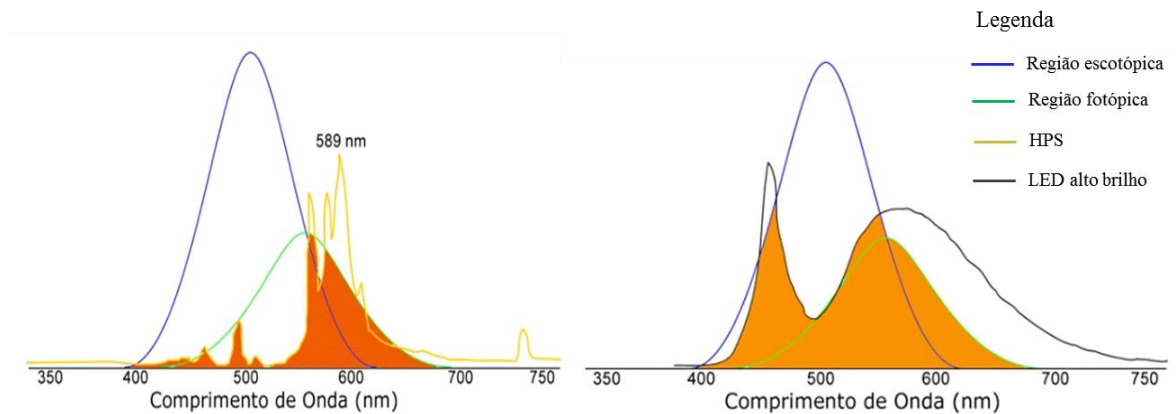


GRÁFICO 5.1 - COMPRIMENTO DE ONDA VAPOR DE SÓDIO DE ALTA PRESSÃO E LED DE ALTO BRILHO

Fonte: Artigo LED ou Vapor de Sódio [29]

A área em laranja evidencia que a lâmpada LED de alto brilho atinge a totalidade da área fotópica e uma parte considerável da área escotópica, com uma eficiência muito maior que a lâmpada de vapor de sódio de alta pressão.

Outra vantagem das lâmpadas de LED é que quando utilizadas com *dimmer*, elas não “mudam de cor”. A temperatura de cor se mantém, evitando qualquer desconforto visual.

5.3 Manutenção/Reposição

Esta é uma das maiores vantagens da tecnologia LED. A fabricação das lâmpadas LEDs procura manter o formato construtivo e as bases (soquetes) similares às tecnologias tradicionais, a fim de facilitar a substituição.

Como a transmissão de energia ocorre no estado sólido, às lâmpadas de LEDs são mais robustas e resistentes.

São excelentes opções para instalação em locais altos e de difícil acesso, como fundo de piscina.

Nos Gráficos 5.2, 5.3 e 5.4, estão representadas as comparações da vida útil das lâmpadas de LED com as suas respectivas concorrentes, de acordo com as Tabelas do item 5.1.

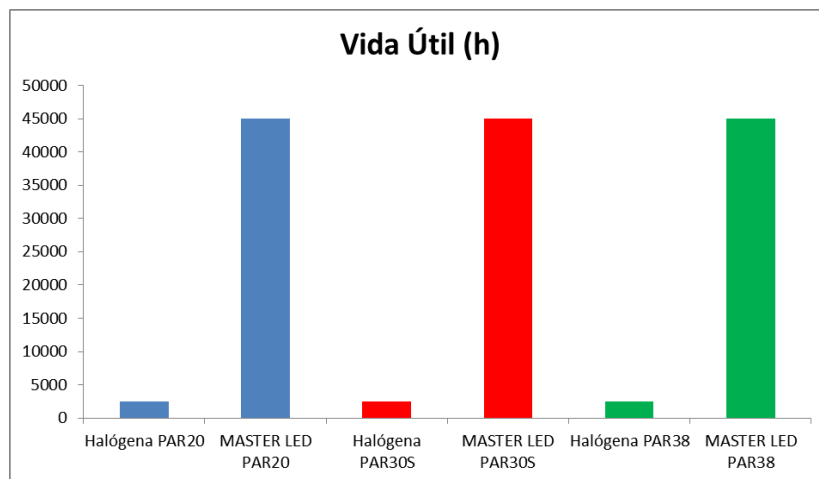


GRÁFICO 5.2 – COMPARAÇÃO DA VIDA ÚTIL DAS LÂMPADAS DO GRUPO1

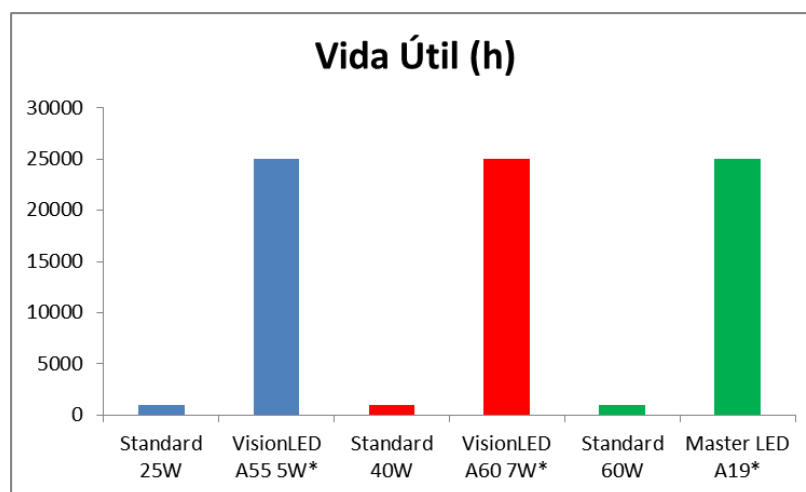


GRÁFICO 5.3 - COMPARAÇÃO DA VIDA ÚTIL DAS LÂMPADAS DO GRUPO2

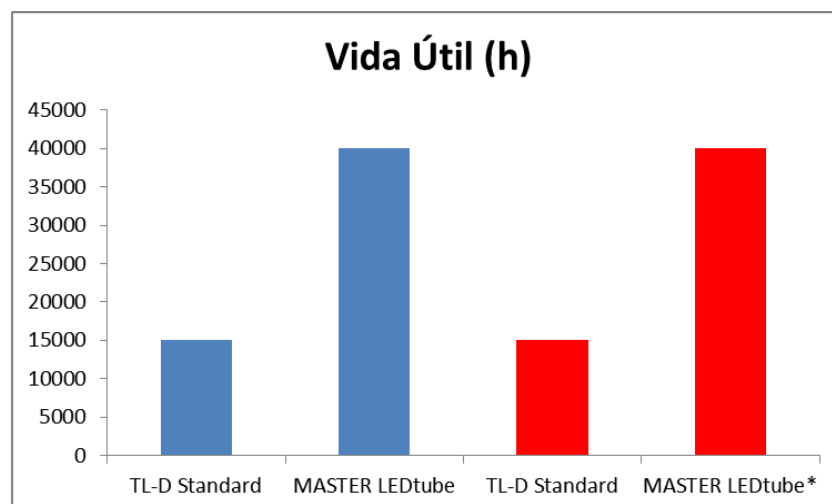


GRÁFICO 5.4 - COMPARAÇÃO DA VIDA ÚTIL DAS LÂMPADAS DO GRUPO 3

5.4 O Descarte das Lâmpadas

Para que fique bem claro o quanto o futuro com LED pode ser muito melhor para o mundo neste aspecto, é preciso discutir o que é feito e o que se deve fazer com os resíduos das outras tecnologias de lâmpadas e que tipos de resíduos são produzidos.

Todas as lâmpadas queimadas precisam de um destino adequado na hora do descarte. Todas geram impacto ambiental, independente da tecnologia. A conscientização a cerca do que fazer com os resíduos ainda é um problema no Brasil, que recicla muito pouco de todo o lixo produzido. Segundo estimativas da ABILUX, são consumidas, em média, 100 milhões de lâmpadas fluorescentes por ano no Brasil. Desse total, apenas 6% delas passam por algum processo de reciclagem.

A falta de uma legislação federal específica para o descarte e disposição final de lâmpadas contendo mercúrio colabora para este cenário trágico. Alguns estados das regiões sul e sudeste possuem alguma regulamentação de ordem estadual ou municipal para tratar o resíduo tóxico das lâmpadas, mas a falta de fiscalização e punições mais rígidas causa atrasos no desenvolvimento do setor. São poucas as empresas no país que realizam este serviço.

As lâmpadas incandescentes não possuem componentes tóxicos, mas há o vidro e a base de metal que devem ser reciclados. A sua curta vida útil faz com que o volume de descarte seja maior e em longo prazo, seu impacto ambiental é significativo.

As lâmpadas fluorescentes e de vapor de mercúrio, possuem gás argônio e vapor de mercúrio selados em um bulbo de vidro. Estas substâncias, em especial o mercúrio, contaminam o solo e o ambiente, sendo prejudiciais à saúde. O procedimento correto para o descarte destas lâmpadas é enviá-las para empresas especializadas, que fazem o corte da lâmpada recolhendo o mercúrio e fazendo a descontaminação do bulbo. Ao final, tudo pode ser reciclado: o mercúrio, o vidro e as partes metálicas.

As lâmpadas de vapor de sódio são constituídas por uma mistura de metal de sódio e mercúrio, encapsulados com gás xenônio. O ideal neste caso também é enviar para empresas especializadas, que executam um processo de descontaminação semelhante ao das lâmpadas fluorescentes, e após, os resíduos podem ser reaproveitados.

A tecnologia do LED não possui itens tóxicos, o que diminui os riscos ao meio ambiente. Com uma vida útil muito superior as suas concorrentes, as lâmpadas de LED produzem muito menos resíduos.

5.5 As Principais Soluções com LED

Existem muitas e grandes novidades para iluminação utilizando LEDs. As principais soluções serão mostradas a seguir. E todas elas têm a vantagem de não emitir radiações UV (ultravioleta) ou IR (infravermelha)

a) *Retrofit* de Lâmpadas Incandescentes



FIGURA 5.5 - PARATHOM CLASSIC A (OSRAM) E MASTER LEDBULB (PHILIPS)

Fonte: Catálogo Osram[21] e Philips [16]

A série Parathom Classic, da Osram [21], possui lâmpadas com base E-27 de fácil substituição, vida útil de 25.000 horas e são multi-tensão (100-240 V). São apresentadas em versões com temperatura de cor quente ou fria. Além disso podem ser utilizadas com *dimmer* nas versões Classic A 60 ou Classic A 80, proporcionando iluminação agradável em qualquer hora do dia. A Classic A 80, consome apenas 12 W e pode substituir uma lâmpada incandescente de 60 W.

Preço: R\$89,90 (a versão de 8 W, que substitui a incandescente de 40 W)

As lâmpadas Master LEDbulb, da Philips [18], possuem design inovador e foram projetadas para o *retrofit* das lâmpadas incandescentes de 75, com sua base E-27. Têm durabilidade de 45.000 horas. Temperatura de cor de luz branca quente, *dimerizável*.

Preço: R\$ 189,90 a versão de 12 W (substitui a incandescente de 60 W)

b) Retrofit de Lâmpadas Halógenas Dicroicas



FIGURA 5.6 – SOLUÇÃO LED DA OSRAM (E) E PHILIPS
Fonte: Catálogo Osram[21] e Philips [16]

A Osram apresenta a linha LED Star Parathom MR16 em versões com potências de 4 W a 10 W com base GU5.3 para substituir as halógenas de 20 W e 35 W. Com tensão de operação de 12 V, pode ser operada com transformadores. Com duração de 25.000 horas elas ainda podem ser utilizadas com *dimmers*. Possuem abertura de fecho de 36°.

Preço: R\$ 89,90 (a versão de 10 W que substitui uma halógena dicroica de 50 W)

A Philips lançou as lâmpadas AmbientLED MR16, nas versões com 7 W ou 10 W para substituir as halógenas de mesma base (GU5.3) de 35 W e 50 W, respectivamente. Operam na tensão de 12 V e são compatíveis com qualquer transformador do mercado. Também possuem abertura de fecho de 36° e são *dimerizáveis*. Temperatura de cor quente (2700 K). Vida útil de 25.000 horas.

Preço: R\$ 129,90 (a versão de 10 W que substitui uma halógena dicroica de 50 W)

c) Luminárias e Projetores

- *Lux Space* – possui módulo LED acoplado. Esta luminária possui IRC superior a 80. De fácil instalação substitui as tradicionais *downlighters* de lâmpadas fluorescentes. Para aplicação em iluminação geral de interiores e tem uma versão específica para salas de ressonância magnética (que não produz nenhuma interferência nas imagens). Vida útil longa: 50.000 horas. *Dimerizável* e disponível nas temperaturas de cor 3000 K e 4000 K. Consome de 10 W a 28,4 W.

Preço de varejo: R\$ 998,00 (o modelo *standard*)



FIGURA 5.7 - LUMINÁRIA LUX SPACE SUA APLICAÇÃO EM UMA SALA DE RESSONÂNCIA MAGNÉTICA

Fonte: Catálogo Tabela Iluminação Profissional Philips [35]

- *Color Reach Powercore*– para uso em fachadas. Este projetor produz cores e efeitos dinâmicos, com alcance de até 150 m. Longa vida útil, de 70.000 horas. Fácil instalação e ainda possibilita mudança de cores. Consumo máximo de 290 W. E ainda permite o ajuste de temperatura de cor.

Preço: R\$ 16.954,00



FIGURA 5.8-COLORREACH POWERCORE

Fonte: Catálogo Tabela Iluminação Profissional Philips [35]

- *Day Wave* – Possui design inovador, com curvas. Pode ser montada individualmente ou em conjunto. A cor da luz emitida pode variar ajustada por um controle no interruptor. Possui iluminação indireta “stand by” em azul. Ideal para aplicação em área comercial coberta. IRC superior a 80.

Preço: R\$ 19.507,00

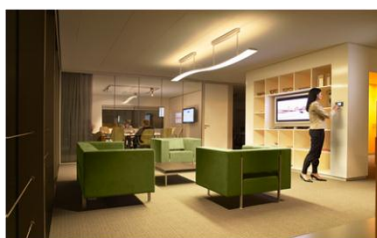


FIGURA 5.9 – DAY WAVE

Fonte: Catálogo Tabela Iluminação Profissional Philips [35]

ESTUDOS DE CASOS

Neste capítulo serão ilustrados estudos com relação ao desempenho da tecnologia LED. Os estudos serão feitos comparando a tecnologia LED com tecnologias tradicionais, de acordo com a área de aplicação. São avaliadas aplicações em iluminação geral residenciais, de escritórios e salas de aula, galpões industriais e salões bancários, além de uma aplicação em iluminação pública.

A economia gerada e o retorno de investimento são características definitivas para a escolha do LED para projetos novos ou *retrofit*.

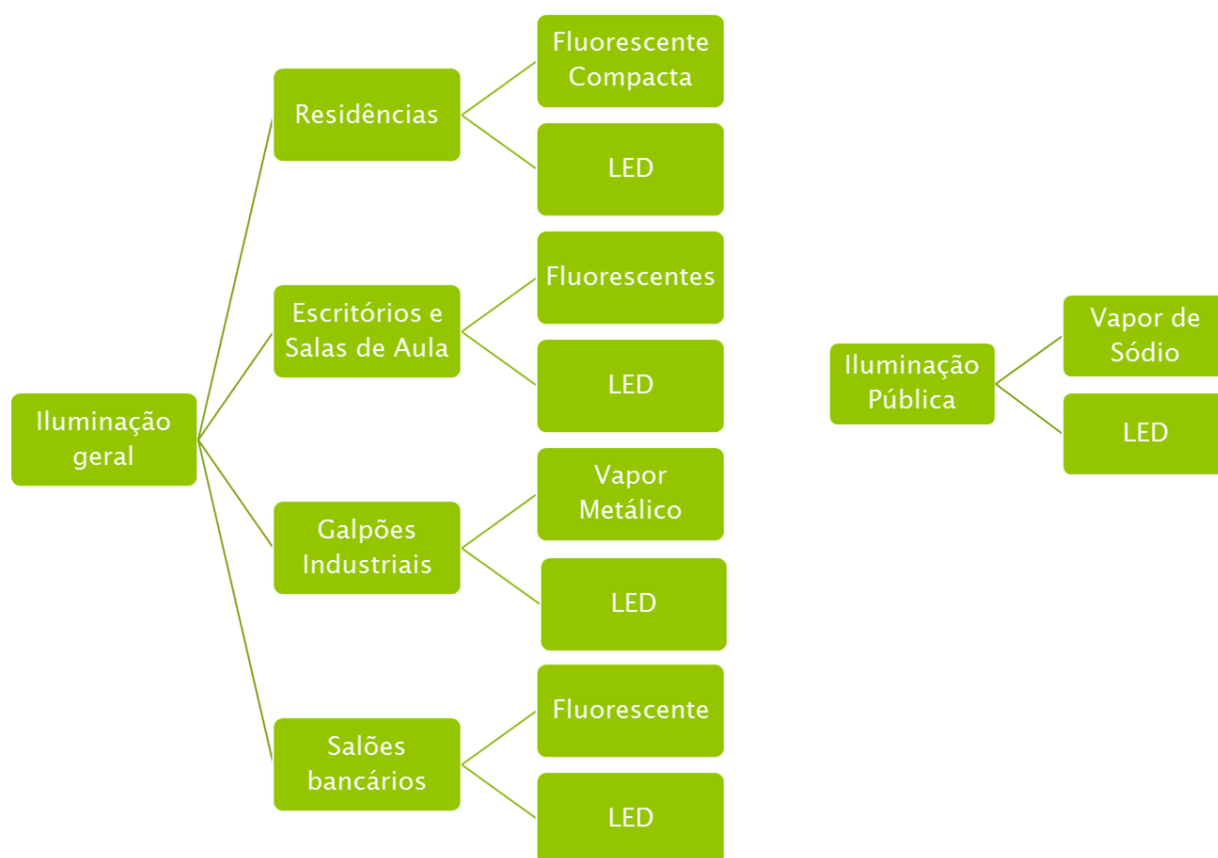


FIGURA 6.1 – FLUXOGRAMA DOS ESTUDOS DE CASO

6.1 Premissas Adotadas para os Cálculos

Serão utilizadas soluções de LED que possam substituir as soluções tradicionais. Para fazer uma equivalência entre as soluções, a análise será feita por tipo de aplicação, considerando um ambiente fictício.

A iluminação residencial será calculada segundo o método do fluxo e critérios da ABNT NBR 5413:1992.

Todos os outros casos serão analisados utilizando-se os níveis de iluminância recomendados por esta norma e simulação com o *software* Dialux versão 4.10 [35], para garantir maior segurança dos resultados de iluminância das luminárias e lâmpadas envolvidas. A opção pela utilização do Dialux é porque além de ser um dos programas mais utilizados no mundo, ele é recomendado pelo PROCEL [38].

Para se calcular o investimento de cada projeto são considerados os valores de lâmpadas, luminárias, bocais e mão de obra.

Para cálculo de comparação de gastos entre as alternativas de cada aplicação, o intervalo de tempo considerado é o da solução que possui maior vida útil – LED, e a partir disso, determinam-se as trocas e manutenções da outra solução neste período.

Os valores de mão de obra foram retirados de uma tabela básica de preços [39] e são: troca de lâmpada (até 5 metros de altura): R\$ 15,00; troca de lâmpada (acima de 5 metros de altura): R\$ 35,00; troca de um reator: R\$ 45,00; e instalação de um lustre (simples): R\$ 65,00.

Para cálculo dos gastos com energia elétrica, foram utilizados os valores de tarifas mais baixas, já com acréscimos de impostos, praticados pela Light SA, concessionária de distribuição de energia elétrica da cidade do Rio de Janeiro [31].

Não foram considerados ajustes nos valores das tarifas ou dos produtos ao longo do período analisado em cada caso.

Todas as lâmpadas utilizadas são Philips [16].

Para nossos cálculos consideramos os valores médios de iluminância recomendados pela ABNT NBR 5413:1992.

6.2 Iluminação Geral para Residências

A análise foi realizada comparando-se a utilização de lâmpadas fluorescentes compactas e LEDs para todos os ambientes de uma casa. O modelo de casa utilizado possui dois quartos, sala, cozinha, varanda, corredor e banheiro.

A Figura 6.2 exibe a planta baixa do projeto residencial. A Tabela 6.1 exibe a área em metros quadrados de cada ambiente.

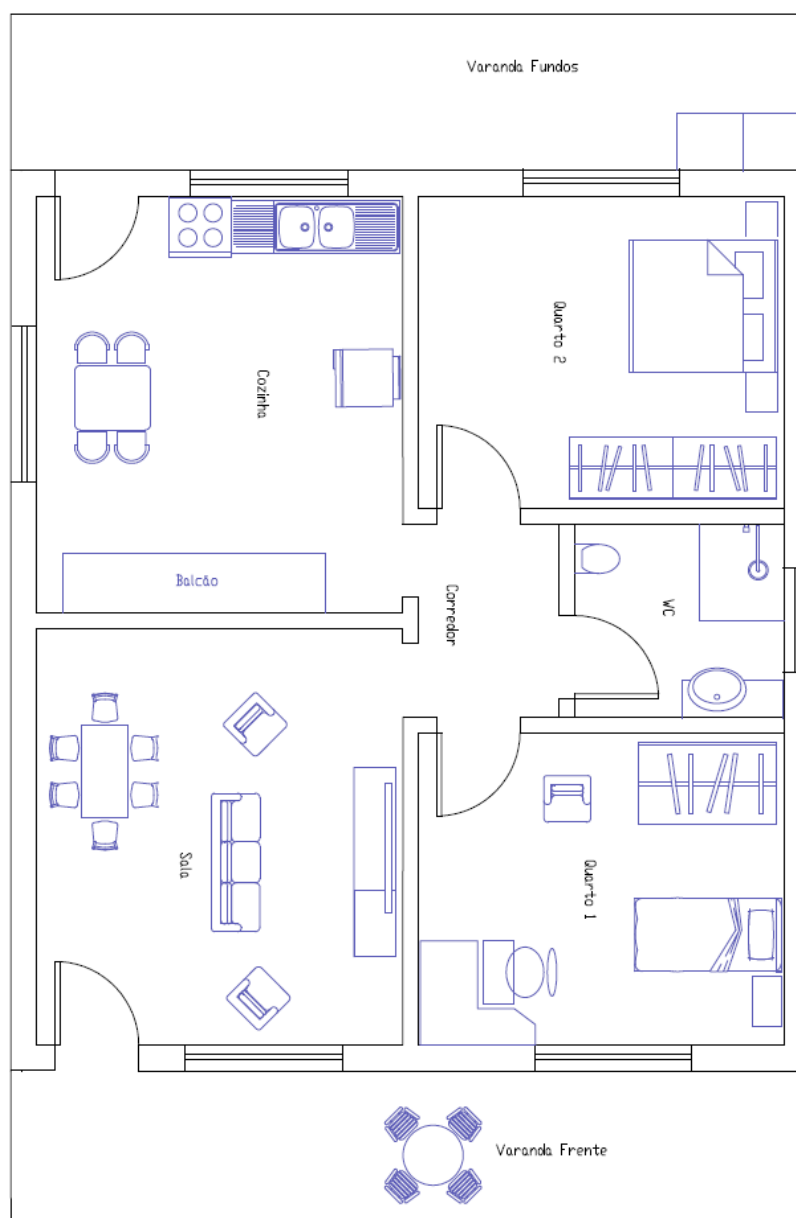


FIGURA 6.2 - PLANTA BAIXA RESIDENCIAL

Fonte: A autora

TABELA 6.1 – ÁREA POR AMBIENTES

Ambiente	Área (m²)
Sala	14
Cozinha	14
Corredor	2,2
Banheiro	3,7
Quarto 1	10,5
Quarto 2	10,5
Varanda frente	11,5
Área de Serviço	11,5

Os cálculos são realizados pelo método dos fluxos [8]:

$$E = \frac{\Phi_T}{A} \qquad n = \frac{E \times A}{\Phi_T \times F_u \times BF \times F_d} \qquad \text{(Equação 6.1)}$$

Onde:

Φ_T = *fluxo luminoso total*

E = *iluminância recomendada*

A = *área do local*

n = *quantidade de lâmpada*

Φ = *fluxo luminoso das lâmpadas (lm)*

F_u = *fator de utilização*

F_d = *fator de depreciação*

BF = *fator de fluxo luminoso do reator*

“O fator de utilização indica a eficiência luminosa do conjunto lâmpada, luminária e recinto”, de acordo com a Apostila Conceitos e Projetos [8].

Para a aplicação residencial de todos os ambientes, exceto a iluminação do espelho do banheiro, a luminária utilizada será a Plafon Fixo, modelo econômico da Taschibra [38]. Esta luminária não interfere na eficiência luminosa das lâmpadas, por isso, nestas aplicações $F_u=1$. A luminária escolhida para o banheiro é a Spot Economic, também da Taschibra, modelo adaptado para lâmpadas com base E-27. O fabricante não fornece seu fator de utilização, portanto também será considerado $F_u=1$, pois o bulbo da lâmpada fica nu.

Valores das luminárias (bocal incluso): Paflon Fixo BR E27: R\$ 3,31; Spot Economic Curto BR E27: R\$ 6,00.



FIGURA 6.3 - LUMINÁRIA PAFLON FIXO (E) E SPOT ECONOMIC (D)
Fonte: Catálogo Taschibra [39]

O fator de depreciação considerado foi $F_d=0,8$, que é recomendado para ambientes limpos [8].

As alternativas estudadas neste projeto são as lâmpadas fluorescentes compactas integradas e as lâmpadas de LED voltadas para o uso residencial da Philips [16]. Todos os modelos utilizados possuem a base E-27, para fácil substituição.

TABELA 6.2 - CARACTERÍSTICAS DAS LÂMPADAS PARA USO RESIDENCIAL

	Modelo	Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	IRC	TCC (K)	Eficiência Luminosa (lm/W)	Vida útil (horas)	Custo unitário (R\$)
Fluorescente	Mini essential genie	8	420	82	2700	59	8.000	R\$ 9,80
	Twister	15	1000	82	2700	67	8.000	R\$ 17,00
LED	MASTER LEDbulb	7	470	80	2700	67	25.000	R\$ 129,90
	MASTER LEDbulb	12	806	80	2700	67	25.000	R\$ 79,90

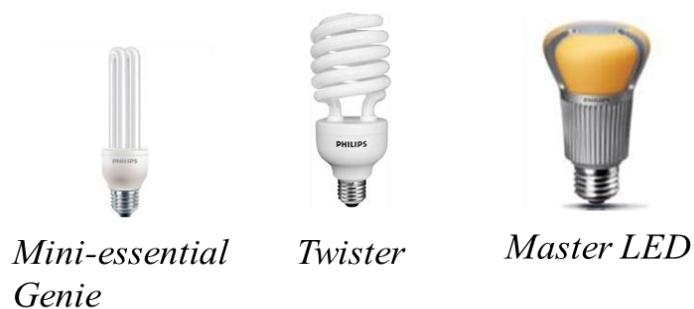


FIGURA 6.4 - TIPOS DE LÂMPADA PARA USO RESIDENCIAL
Fonte: Catálogo Philips [16]

As lâmpadas de menor potência serão utilizadas no banheiro, para iluminação no espelho.

- **Sala de estar**

Níveis de iluminância para uso geral (lux): 100 – 150 – 200.

Cálculo de número de lâmpadas fluorescentes compactas pelo método dos fluxos (Equação 6.1):

$$n = \frac{150 \times 14}{1000 \times 0,8} = 2,6 \rightarrow \text{serão adotadas 3 lâmpadas}$$

A iluminância média real do sistema com fluorescentes é obtida através de uma manipulação da Equação 6.1:

$$E = \frac{3 \times 1000 \times 0,8}{14} = 171 \text{ lux}$$

O número de lâmpadas LED será determinado a partir da iluminância obtida com o sistema de fluorescentes.

Número de lâmpadas MasterLED (12 W):

$$n = \frac{171 \times 14}{806 \times 0,8} = 3,7 \rightarrow \text{serão adotadas 4 lâmpadas}$$

Logo, a iluminância média no sistema com LEDs será superior: E=184 lux.

O investimento inicial considerado é o custo da aquisição das lâmpadas para o sistema de iluminação:

$$\text{Investimento} = n^{\circ} \text{ de lâmpadas} \times (\text{custo lâmpada} + \text{custo luminária} + \text{custo instalação})$$

(Equação 6.2)

$$Investimento_{fluorescentes} = 3 \times (17,00 + 3,31 + 65,00) = R\$ 255,93$$

$$Investimento_{LED} = 4 \times (189,90 + 3,31 + 65,00) = R\$ 1.032,84$$

Como já dito no item 6.1, o tempo considerado para análise é o da lâmpada mais duradoura. A vida útil das lâmpadas MASTER LED é igual a 25.000 horas, logo o número de reposição (em número inteiro) ao final do período é:

$$Reposição = \frac{Vida\ útil_{LED}}{Vida\ útil_{fluorescente}} \quad \text{(Equação 6.3)}$$

$$Reposição = \frac{25000}{8000} = 3$$

A manutenção é o custo adicional com as trocas das lâmpadas, ou seja, o custo de realizar 2 vezes a substituição das lâmpadas, incluindo a mão de obra.

$$Manutenção = n^{\circ} \text{ de trocas} \times n^{\circ} \text{ de lâmpadas} \times (\text{custo lâmpada} + \text{custo instalação}) \quad \text{(Equação 6.4)}$$

$$Manutenção = 2 \times 3 \times (17,00 + 15,00) = R\$192,00$$

O custo total da energia é calculado com base no consumo em kWh durante 25.000 horas.

$$Consumo \text{ de energia (kWh)} = \frac{(n^{\circ} \text{ de lâmpadas} \times potência_{lâmpadas}) \times período}{1000} \quad \text{(Equação 6.5)}$$

$$Custo \text{ de energia} = Consumo \text{ de energia} \times tarifa \quad \text{(Equação 6.6)}$$

Fluorescentes

$$Consumo \text{ de energia (kWh)} = \frac{(3 \times 15) \times 25000}{1000} = 1.125 \text{ kWh}$$

$$Custo \text{ da energia (R\$)} = 1125 \times 0,40561 = R\$456,31$$

LED

$$\text{Consumo de energia (kWh)} = \frac{(4 \times 12) \times 25000}{1000} = 1200 \text{ kWh}$$

$$\text{Custo da energia (R\$)} = 1200 \times 0,40561 = \text{R\$}486,73$$

O total de gastos ao final de 25.000 horas de uso é:

$$\text{Total de gastos} = \text{Investimento} + \text{manutenção} + \text{custo da energia}$$

(Equação 6.7)

$$\text{Total de gastos}_{\text{fluorescentes}} = 255,93 + 192,00 + 456,31 = \text{R\$} 904,24$$

$$\text{Total de gastos}_{\text{LED}} = 1.032,84 + 486,73 = \text{R\$}1.519,57$$

O custo mensal é realizado considerando uma utilização diária de 5 horas.

$$\text{Custo mensal} = \frac{n^{\circ} \text{ de lâmpadas} \times \text{potência}_{\text{lâmpada}}(W) \times \text{tarifa}(kWh)}{1000}$$

(Equação 6.8)

$$\text{Custo mensal}_{\text{fluorescentes}} = \frac{(3 \times 15) \times 0,40561}{1000} = \text{R\$}6,75$$

$$\text{Custo mensal}_{\text{LED}} = \frac{(5 \times 12) \times 0,40561}{1000} = \text{R\$}7,20$$

Para avaliar se o sistema com LED têm retorno financeiro, é feito o cálculo do tempo de retorno de investimento, conhecido como *pay back*:

$$\text{Pay back} = \frac{\text{Investimento}_{\text{LEDs}} - \text{Investimento}_{\text{fluorescentes}}}{\text{Custo mensal}_{\text{fluorescentes}} - \text{Custo mensal}_{\text{LEDs}}}$$

(Equação 6.9)

Neste estudo não existe este tempo de retorno, pois o custo mensal do sistema com fluorescente é menor que o custo mensal com LED.

A Tabela 6.3 resume a avaliação econômica:

TABELA 6.3 - AVALIAÇÃO SALA DE ESTAR

	Sala de Estar	
	FLC	LED
Modelo lampada	Twister	MASTER LEDbulb
Potência lâmpada (W)	15	12
Quantidade	3	4
Custo unitário	R\$ 17,00	R\$ 189,90
Vida útil (horas)	8000	25000
Investimento	R\$ 255,93	R\$ 1.032,84
Manutenção	R\$ 192,00	R\$ -
Valor de tarifa de energia para ilum.residencial (R\$/kWh)	0,40561	0,40561
Consumo (kWh) <i>(em 25000 horas de uso)</i>	1.125	1.200
Custo da energia <i>(em 25000 horas de uso)</i>	R\$ 456,31	R\$ 486,73
Total de gastos (R\$)	R\$ 904,24	R\$ 1.519,57
Economia final com o sistema de iluminação LED		
Mais caro R\$615,33 ou 68%		
Retorno do investimento		
Custo mensal	R\$ 6,75	R\$ 7,20
Redução mensal (R\$/mês)	-	-R\$ 0,45
Pay Back (meses)	não tem	

- **Quartos (1 e 2)**

A sequencia de cálculos é a mesma, por isso alguns passos serão omitidos.

Níveis de iluminância para uso geral (lux): 100 – 150 – 200

Número de lâmpadas fluorescentes twister por quarto:

$$n = \frac{150 \times 10,5}{1000 \times 0,8} = 2$$

Número de lâmpadas MasterLED (12 W) por quarto:

$$n = \frac{150 \times 10,5}{806 \times 0,8} = 2,4 \rightarrow \text{serão adotadas 2 lâmpadas}$$

Neste caso, o nível médio de iluminância será E=147 lux.

O uso diário é considerado de 3 horas.

A análise econômica está na Tabela 6.4:

TABELA 6.4 - AVALIAÇÃO QUARTO

	Quarto	
	FLC	LED
Modelo lampada	Twister	MASTER LEDbulb
Potência lâmpada (W)	15	12
Quantidade	2	2
Custo unitário	R\$ 17,00	R\$ 189,90
Modelo lampada	Mini Essential Line	MASTER LEDbulb
Vida útil (horas)	8000	25000
Investimento	R\$ 170,62	R\$ 516,42
Manutenção	R\$ 141,24	R\$ -
Valor de tarifa de energia para ilum.residencial (R\$/kWh)	0,40561	0,40561
Consumo (kWh) (em 25000 horas de uso)	750	600
Custo da energia (em 25000 horas de uso)	R\$ 304,21	R\$ 243,37
Total de gastos (R\$)	R\$ 616,07	R\$ 759,79
Economia final com o sistema de iluminação LED		
Mais caro R\$143,72 ou 23%		
Retorno do investimento		
Custo mensal	R\$ 4,50	R\$ 3,60
Redução mensal (R\$/mês)	-	R\$ 0,90
Pay Back (meses)	384	

- **Cozinha**

Iluminância para uso geral (lux): 100 – 150 – 200.

Número de lâmpadas fluorescentes twister:

$$n = \frac{150 \times 14}{1000 \times 0,8} = 2,6 \rightarrow \text{serão adotadas 3 lâmpadas}$$

$$E = \frac{3 \times 1000 \times 0,8}{14} = 171 \text{ lux}$$

Número de lâmpadas de LED MasterLED (12 W):

$$n = \frac{171 \times 14}{806 \times 0,8} = 3,7 \rightarrow \text{serão adotadas 4 lâmpadas}$$

Logo, a iluminância média no sistema com LEDs será superior, E=184 lux.

Para esta aplicação, foi considerado uso diário de 3 horas.

Os valores da análise estão na Tabela 6.5:

TABELA 6.5 - AVALIAÇÃO COZINHA

	Cozinha	
	FLC	LED
Modelo lampada	Twister	MASTER LEDbulb
Potência lâmpada (W)	15	12
Quantidade	3	4
Custo unitário	R\$ 17,00	R\$ 189,90
Vida útil (horas)	8000	25000
Investimento	R\$ 255,93	R\$ 1.032,84
Manutenção	R\$ 192,00	R\$ -
Valor de tarifa de energia para ilum.residencial (R\$/kWh)	0,40561	0,40561
Consumo (kWh) (em 25000 horas de uso)	1.125	1.200
Custo da energia (em 25000 horas de uso)	R\$ 456,31	R\$ 486,73
Total de gastos (R\$)	R\$ 904,24	R\$ 1.519,57
Economia final com o sistema de iluminação LED		
Mais caro R\$615,33 ou 68%		
Retorno do investimento		
Custo mensal	R\$ 4,05	R\$ 4,32
Redução mensal (R\$/mês)	-	-R\$ 0,27
Pay Back (meses)	não tem	

- **Corredor**

Níveis de iluminância para uso geral (lux): 75 – 100 – 150

Número de lâmpadas fluorescentes mini essential genie:

$$n = \frac{100 \times 2,2}{600 \times 0,5} = 0,65 \rightarrow 1 \text{ lâmpada}$$

$$E = \frac{1 \times 420 \times 0,8}{2,2} = 153 \text{ lux}$$

Número de lâmpadas MasterLED (7 W):

$$n = \frac{153 \times 2,2}{470 \times 0,8} = 0,9 \rightarrow 1 \text{ lâmpada}$$

A iluminância média com o uso de LEDs é E=171 lux.

A consideração para uso diário do corredor é de 20 minutos.

Os valores da análise estão na Tabela 6.6.

TABELA 6.6 - AVALIAÇÃO CORREDOR

	CORREDOR	
	FLC	LED
Modelo lampada	Mini Essential genie	MASTER LEDbulb
Potência lâmpada (W)	8	7
Quantidades	1	1
Custo unitário	R\$ 9,80	R\$ 79,90
Vida útil (horas)	8000	25000
Investimento	R\$ 78,11	R\$ 148,21
Manutenção	R\$ 49,60	R\$ -
Valor de tarifa de energia para ilum.residencial (R\$/kWh)	0,40561	0,40561
Consumo (kWh) (em 25000 horas de uso)	200	175
Custo da energia (em 25000 horas de uso)	R\$ 81,12	R\$ 70,98
Total de gastos (R\$)	R\$ 208,83	R\$ 219,19
Economia final com o sistema de iluminação LED		
Mais caro R\$10,36 ou 5%		
Retorno do investimento		
Custo mensal	R\$ 0,08	R\$ 0,07
Redução mensal (R\$/mês)	-	R\$ 0,01
Pay Back (meses)	não tem	

- **Banheiro**

Níveis de iluminância para uso geral (lux): 100 – 150 – 200

Número de lâmpadas fluorescentes:

$$n = \frac{150 \times 3,7}{1000 \times 0,8} = 0,69 \rightarrow 1 \text{ lâmpada}$$

$$E = \frac{1 \times 1000 \times 0,8}{3,7} = 216 \text{ lux}$$

Adicionalmente, para iluminação do espelho será utilizada uma lâmpada mini essencial genie, instalada em uma luminária SPOT Economic.

Número de lâmpadas de LED MasterLED (12 W):

$$n = \frac{216 \times 3,7}{806 \times 0,8} = 1,2 \rightarrow 1 \text{ lâmpada}$$

A iluminância média com o uso de LEDs é E=174 lux.

Adicionalmente, para iluminação do espelho será utilizada uma lâmpada MASTER LED de 7 W.

O uso diário considerado para o banheiro é de 2 horas por dia e 1 hora para a iluminação do espelho.

Os valores da análise estão na Tabela 6.7.

TABELA 6.7 - AVALIAÇÃO BANHEIRO

	BANHEIRO	
	FLC	LED
Modelo lâmpada	Twister	MASTER LEDbulb
Potência lâmpada (W)	15	12
Quantidade	1	1
Custo unitário	R\$ 17,00	R\$ 189,90
Modelo lâmpada	Mini Essential Line	MASTER LEDbulb
Potência lâmpada (W)	8	7
Quantidades	1	1
Custo unitário	R\$ 9,80	R\$ 79,90
Vida útil (horas)	8000	25000
Investimento	R\$ 166,11	R\$ 409,11
Manutenção	R\$ 100,62	R\$ -
Valor de tarifa de energia para ilum.residencial (R\$/kWh)	0,40561	0,40561
Consumo (kWh) (em 25000 horas de uso)	575	475
Custo da energia (em 25000 horas de uso)	R\$ 233,23	R\$ 192,66
Total de gastos (R\$)	R\$ 499,96	R\$ 601,77
Economia final com o sistema de iluminação LED		
Mais caro R\$101,82 ou 20%		
Retorno do investimento		
Custo mensal	R\$ 0,46	R\$ 0,38
Redução mensal (R\$/mês)	-	R\$ 0,09
Pay Back (meses)	2853	

- **Varandas**

Não há recomendação específica, então serão considerados os níveis de iluminância para cozinha, como referência (lux): 100 – 150 – 200.

Número de lâmpadas fluorescentes twister:

$$n = \frac{150 \times 11,5}{1000 \times 0,8} = 2,2 \rightarrow \text{serão adotadas 2 lâmpadas}$$

$$E = \frac{2 \times 1000 \times 0,8}{11,5} = 139 \text{ lux}$$

Número de lâmpadas MasterLED (12 W):

$$n = \frac{139 \times 11,5}{806 \times 0,8} = 2,5 \rightarrow \text{serão adotadas 2 lâmpadas}$$

A iluminância média com o uso de LEDs é E=112 lux.

Foi considerada uma utilização diária de 30 minutos.

Os valores da análise estão na Tabela 6.8:

TABELA 6.8 - AVALIAÇÃO VARANDAS

	Varandas	
	FLC	LED
Modelo lampada	Twister	MASTER LEDbulb
Potência lâmpada (W)	15	12
Quantidade	2	2
Custo unitário	R\$ 17,00	R\$ 189,90
Modelo lampada	Mini Essential Line	MASTER LEDbulb
Vida útil (horas)	8000	25000
Investimento	R\$ 170,62	R\$ 516,42
Manutenção	R\$ 128,00	R\$ -
Valor de tarifa de energia para ilum.residencial (R\$/kWh)	0,40561	0,40561
Consumo (kWh) (em 25000 horas de uso)	750	600
Custo da energia (em 25000 horas de uso)	R\$ 304,21	R\$ 243,37
Total de gastos (R\$)	R\$ 602,83	R\$ 759,79
Economia final com o sistema de iluminação LED		
Mais caro R\$156,96 ou 26%		
Retorno do investimento		
Custo mensal	R\$ 0,18	R\$ 0,15
Redução mensal (R\$/mês)	-	R\$ 0,04
Pay Back (meses)	não tem	

Considerações:

Os resultados revelam que o custo do LED é o principal problema, mas não é o único. Os modelos de lâmpadas fluorescentes são muito eficientes. Para esta aplicação, o

desafio dos LEDs é aumentar o fluxo luminoso, sem perder a qualidade da luz, mantendo uma eficiência luminosa igual ou maior.

As soluções apresentadas mostraram a vantagem do LED apenas no custo mensal. Na iluminância média, os ambientes onde a lâmpada de LED alcançou o valor superior custou a colocação de mais um ponto de luz.

Uma diferença entre essas tecnologias, é que quando a compacta ingressou no mercado para iluminação residencial, ela ainda apresentava muitos aspectos de complicação, tais como: base de pinos, reatores não incorporados, preço elevado, TCC e IRC ruins e vida útil curta, além da falta de oferta nas prateleiras das lojas populares. Sua popularização só foi alcançada quando a maior parte desses problemas foi resolvida. O principal desafio para as LFCs conquistarem o consumidor comum foi conseguir a adaptação para a base E-27, e depois vinha o custo e a durabilidade. Muitos destes desafios já estão superados pelo LED. Talvez pelo conhecimento dos problemas porque passou as LFCs. O único desafio que as LEDs precisarão vencer para se tornarem populares é o seu custo.

Uma análise econômica foi elaborada para toda a residência no período de 25.000 horas, e o seu custo mensal. Os resultados encontram-se na Tabela 6.9.

TABELA 6.9 – ANÁLISE SOLUÇÃO RESIDENCIAL

	FLC	LED
Sistema de iluminação		
Modelo lampada	Twister	MASTER LEDbulb
Potência lâmpada (W)	15	12
Quantidade	11	13
Custo unitário	R\$ 17,00	R\$ 189,90
Modelo lampada	Mini Essential Line	MASTER LEDbulb
Potência lâmpada (W)	11	7
Quantidades	2	2
Custo unitário	R\$ 15,43	R\$ 79,90
Vida útil (horas)	8000	25000
Análise Econômica		
Investimento	R\$ 1.267,94	R\$ 4.172,26
Manutenção	R\$ 944,70	R\$ -
Valor de tarifa de energia para ilum.residencial (R\$/kWh)	0,40561	0,40561
Consumo (kWh) (em 25000 horas de uso)	4.675	4.250
Custo da energia (em 25000 horas de uso)	R\$ 1.896,23	R\$ 1.723,84
Total de gastos (R\$)	R\$ 4.108,87	R\$ 5.896,10
Economia final com o sistema de iluminação LED		
Mais caro R\$1.787,24 ou 43%		
Retorno do investimento		
Custo mensal	R\$ 16,02	R\$ 15,71
Redução mensal (R\$/mês)	-	R\$ 0,31
Pay Back (meses)	não tem	

Para esta análise já fica claro que, no momento não compensa a substituição das fluorescentes pelos LEDs no ambiente residencial. O investimento é 340% maior. E neste cenário o retorno de investimento não existe. Além do mais, considerar períodos muito extensos para o retorno de investimento, não é uma situação real, pois o cenário mundial é muito dinâmico. Por esse mesmo raciocínio, a duradoura vida útil do LED não se traduz sempre como uma vantagem. Além disso, ela não traz nenhuma vantagem quanto ao conforto de iluminação, já que ambas as tecnologias possuem uma luz suave (2700 K). O índice de IRC das lâmpadas fluorescentes ainda está ligeiramente superior.

Um problema das lâmpadas LED para uso residencial é que elas não conseguem atingir um nível de iluminância muito alto. A eficiência luminosa é ótima, mas o fluxo luminoso total da lâmpada ainda precisa melhorar.

Para aplicações pontuais, como uma luminária de mesa, já existem modelos mais competitivos, pelo menos quanto ao aspecto técnico.

Em iluminação residencial, o custo e o conforto visual são os pontos que fazem diferença no projeto luminotécnico.

A chegada de novas fábricas no Brasil deve tornar o uso de lâmpadas LED mais vantajoso no futuro, para esta aplicação. Para que a escolha de lâmpadas LED seja uma opção para os consumidores residenciais, é preciso essencialmente uma redução nos preços.

6.3 Iluminação Geral para Escritórios e Salas de Aula

A aplicação estudada é para a iluminação geral desses ambientes. Os valores de iluminância recomendados, em lux, são: 200 - 300 – 500.

A dimensão considerada do ambiente é um espaço retangular, de 4 m x 6 m, ocupando uma área de 24 m². A altura do pé direito da sala é de 2,8 m e o plano de uso considerado a 0,8 m do solo.

A partir dessas informações, a simulação foi realizada no Dialux, com o auxílio do assistente, que retornou a iluminância média do sistema e a quantidade de luminárias em cada cenário avaliado.

Foram utilizadas soluções da Philips.

Cenário 1: iluminação fluorescente, composta por 6 luminárias com 2 lâmpadas fluorescentes de 28 W cada.. Iluminância calculada: $E_m=431$ lux.

Cenário2: iluminação com LEDs, composta por 6 luminárias com módulo LED integrado, com potência de 36W cada. Iluminância calculada: $E_m=395$ lux.

Características técnicas e comerciais do sistema:

	Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	TCC (K)	IRC	Vida Útil (horas)	Preço
Lâmpadas TL5	28	2600	3000	85	24000	R\$ 27,52
Luminária Power Balance	36	3400	3000	>80	50000	R\$ 1.832,74

Reator Eco Master (67) para 2xTL5-28 W: potência: 6 W e preço: R\$47,27

Luminária EcoFIX TBS260: preço: R\$ 362,85

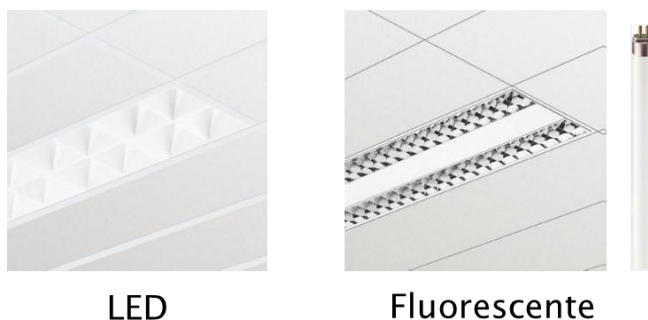


FIGURA 6.5 - ALTERNATIVAS ILUMINAÇÃO ESCRITÓRIOS E SALAS DE AULA

As luminárias fluorescentes são da linha EcoFIX, com tecnologia que limita o ofuscamento em todas as direções e possui aletas frisadas que além de melhorarem o conforto visual melhoram a eficiência.

As luminárias da linha Power Balance foram desenvolvidas pensando na iluminação de escritórios, com alto rendimento e design moderno.

O intervalo de tempo utilizado na análise econômica é a duração da vida útil do sistema com LEDs: 50.000 horas. Utilizando a equação 6.2, calculamos o investimento.

$$Investimento_{fluorescentes} = 6 \times ((2 \times 27,52) + 47,27 + 362,85 + 65,00) = R\$ 3.180,97$$

$$Investimento_{LEDs} = 6 \times (1.832,74 + 65,00) = R\$ 11.386,45$$

A manutenção são os gastos envolvidos devido a quantidade de trocas de lâmpadas do sistema no tempo considerado de análise. Como a vida útil das lâmpadas fluorescentes é de 24.000 horas, será considerado uma troca. Para este cálculo realizamos uma modificação na equação 6.4, incluindo o reator.

$$Manutenção = N^{\circ} \text{ de trocas} \times n^{\circ} \text{ de conjuntos} \times \left(\begin{matrix} \text{custos lâmpada} + \text{reator} \\ + \text{troca} \end{matrix} \right)$$

(Equação 6.10)

$$Manutenção = 1 \times 6 \times ((2 \times 27,52) + 47,27 + 60,00) = R\$ 973,88$$

O custo total da energia é calculado com base no consumo em kWh durante 50.000 horas.

Fluorescentes

$$\text{Consumo de energia (kWh)} = \frac{(6 \times 62) * 50000}{1000} = 18.600 \text{ kWh}$$

$$\text{Custo da energia (R\$)} = 18600 \times 0,52748 = \text{R\$ } 9.811,13$$

LED

$$\text{Consumo de energia (kWh)} = \frac{(6 \times 36) * 50000}{1000} = 10.800 \text{ kWh}$$

$$\text{Custo da energia (R\$)} = 10800 \times 0,52748 = \text{R\$ } 5.696,78$$

O total de gastos ao final de 50.000 horas de uso é:

$$\begin{aligned} \text{Total de gastos}_{\text{fluorescentes}} &= \text{Investimento} + \text{manutenção} + \text{custo da energia} \\ &= \text{R\$ } 13.965,98 \end{aligned}$$

$$\text{Total de gastos}_{\text{LED}} = \text{R\$ } 17.083,23$$

O custo mensal é realizado considerando uma utilização de 8 horas, de segunda à sexta (22 dias/mês).

$$\text{Custo mensal}_{\text{fluorescentes}} = \frac{(6 \times 62) \times 8 \times 22 \times 0,52748}{1000} = \text{R\$ } 34,54$$

$$\text{Custo mensal}_{\text{LED}} = \frac{(6 \times 36) \times 8 \times 22 \times 0,52748}{1000} = \text{R\$ } 20,05$$

Para se avaliar o retorno financeiro do sistema com LED, é feito o cálculo do *payback* (Equação 6.9):

$$\text{Pay back} = \frac{\text{Investimento}_{\text{LEDs}} - \text{Investimento}_{\text{fluorescentes}}}{\text{Custo mensal}_{\text{fluorescentes}} - \text{Custo mensal}_{\text{LEDs}}} = 567 \text{ meses}$$

A Tabela 6.10 resume a avaliação econômica.

TABELA 6.10 – ANÁLISE ILUMINAÇÃO ESCRITORIOS E SALAS DE AULA

	Fluorescente	LED
Análise do Sistema (DIALUX)		
Modelo luminária	TBS260	RC460B
Quantidade de luminárias	6	6
Quantidade de lâmpadas	12	-
Modelo lâmpada	TL5-28W HFP	Modulo LED34S/830
Vida útil (horas)	24000	50000
Potência conjunto (W)	62	36
Fluxo luminoso conjunto (lm)	3727	3400
Potência total (W)	372	216
Análise Econômica		
Custo unitário (lâmpada)	R\$ 27,52	R\$ -
Custo unitário (conjunto)	R\$ 465,16	R\$ 1.832,74
Investimento	R\$ 3.180,97	R\$ 11.386,45
Manutenção	R\$ 973,88	R\$ -
Valor de tarifa de energia para ilum. não residencial (R\$/kWh)	0,52748	0,52748
Consumo (kWh) <i>(em 50.000 horas de uso)</i>	18.600	10.800
Custo da energia <i>(em 50.000 horas de uso)</i>	R\$ 9.811,13	R\$ 5.696,78
Total de gastos (R\$)	R\$ 13.965,98	R\$ 17.083,23
Economia final com o sistema de iluminação LED		
Mais caro R\$ 3.117,25 ou 22%		
Retorno do investimento		
Custo mensal	R\$ 34,54	R\$ 20,05
Redução mensal (R\$/mês)	-	R\$ 14,48
Pay Back (meses)	567	

Embora o custo mensal ao adotar o sistema com LEDs seja 42% mais econômico, não vale o investimento, pois o tempo de retorno só existe matematicamente.

Nas características técnicas, a vantagem é toda para o sistema LED. Ele consome quase 50% menos de energia, não tem perda de fluxo luminoso e consegue manter a mesma qualidade da cor, temperatura de cor e IRC equivalentes.

Com o módulo LED acoplado e sem a necessidade de um reator, este sistema é mais fácil de ser instalado e não há a preocupação com manutenção por 23 anos.

Pensando na dimensão dessa aplicação, a economia de energia é imensa. Esta solução é sustentável e eficiente e possibilita se usada em grande escala, uma redução importante na geração de energia de um país.

O LED precisa alcançar um preço mais competitivo para ser a opção preferida neste tipo de aplicação.

6.4 Iluminação Geral para um Galpão Industrial

Segundo a NBR-5413:1992, os valores mínimo, médio e máximo de iluminância adequados para a iluminação geral são: 750 –1000 - 1500 (lux).

A aplicação estudada é voltada para a indústria de vestuário, áreas de corte e passagem, costura e guarnecimentos. Os valores de iluminância média para estas finalidades são maiores, mas será considerada apenas a iluminação geral do galpão. Este tipo de aplicação interfere diretamente na qualidade da cor da fonte de luz que deve ser escolhida, ainda que a um custo financeiro maior.

O modelo proposto para análise é um galpão industrial com formato retangular, de dimensões 20 m x 40 m, abrangendo uma área de 800 m², com pé direito de 5 m.

A partir dessas informações, a simulação foi realizada no Dialux, com o auxílio do assistente, que retornou a iluminância média do sistema e a quantidade de luminárias em cada cenário avaliado.

Foram utilizadas soluções da Philips.

Cenário 1: o sistema de iluminação composto por 30 luminárias Performalux, cada uma com uma lâmpadas de vapor metálico de 400 W. $E_m=858$ lux.

Cenário 2: foram utilizadas 30 luminárias Gentle Space suspensas, cada uma com módulos LED de alta potência (292 W). $E_m=796$ lux

Características técnicas e comerciais do sistema

	Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	TCC (K)	IRC	Vida Útil (horas)	Preço
Lâmpadas HPI	400	32500	4500	69	7500	R\$ 296,51
Luminária Gentle Space	292	24000	4000	>75	40000	R\$ 6.325,36

Luminária Performalux (versão com lâmpada HPI-P 400W inclusa): R\$1.647,41

A luminária Performalux foi desenvolvida pensando na facilidade de manutenção para ambientes industriais e também como uma solução mais robusta, para diminuir as chances de danificação. Pode ser combinada com outras lâmpadas, como a vapor de sódio.

A luminária Gentle Space é a solução LED da Philips para substituir o uso de lâmpadas de descarga de alta intensidade acima de 400 W, reduzindo o custo de energia e a manutenção.



FIGURA 6.6 - AS ALTERNATIVAS PARA ILUMINAÇÃO GERAL INDUSTRIAL

O intervalo de tempo utilizado na análise econômica é a duração da vida útil do sistema com LEDs: 40.000 horas. Para o cálculo do investimento, foi realizada uma pequena alteração na equação 6.2.

$$Investimento = n^{\circ} \text{ de luminárias} \times (\text{custo do conjunto} + \text{custo instalação})$$

(Equação 6.11)

$$Investimento_{\text{vapor metálico}} = 30 \times (1.647,41 + 65,00) = \text{R\$ } 51.372,24$$

$$Investimento_{LED} = 30 \times (6.325,36 + 65,00) = \text{R\$ } 191.710,81$$

A manutenção são os gastos envolvidos devido a quantidade de trocas de lâmpadas do sistema no tempo considerado de análise. Como a vida útil das lâmpadas de vapor metálico é de 7.500 horas, serão considerado quatro trocas. Assim, de acordo com a equação 6.10.

$$\text{Manutenção} = R\$ 37.381,07$$

O custo total da energia é calculado com base no consumo em kWh durante 40.000 horas, utilizando-se as Equações 6.5 e 6.6.

Vapor metálico

$$\text{Consumo de energia (kWh)} = \frac{(30 \times 428) \times 40000}{1000} = 513.600 \text{ kWh}$$

$$\text{Custo da energia (R\$)} = 513.600 \times 0,52748 = R\$ 270.913,73$$

LED

$$\text{Consumo de energia (kWh)} = \frac{(30 \times 292) \times 40000}{1000} = 350.400 \text{ kWh}$$

$$\text{Custo da energia (R\$)} = 350.400 \times 0,52748 = R\$ 184.828,99$$

O total de gastos ao final de 40.000 horas de uso é:

$$\text{Total de gastos}_{\text{vapor metálico}} = R\$ 359.667,04$$

$$\text{Total de gastos}_{\text{LED}} = R\$ 376.539,80$$

Os cálculos de gasto mensal com cada alternativa, o custo mensal e o tempo de retorno de investimento são calculados de forma análoga ao item 5.3, mas considerando 10 horas de utilização diária para esta aplicação. Os resultados são exibidos na Tabela 6.11:

TABELA 6.11- AVALIAÇÃO GALPÃO INDUSTRIAL

	Vapor Metálico	LED
Análise do Sistema (DIALUX)		
Modelo luminária	HPK380	BYP461
Quantidade de luminárias	30	30
Quantidade de lâmpadas	30	-
Modelo lâmpada	HPI-P400W	Modulo LED34S/830
Vida útil (horas)	7500	40000
Potência conjunto (W)	428	292
Fluxo luminoso conjunto (lm)	28275	24000
Potência total (W)	12840	8760
Análise Econômica		
Custo unitário (lâmpada)	R\$ 296,51	R\$ -
Custo unitário (conjunto)	R\$ 1.647,41	R\$ 6.325,36
Investimento	R\$ 51.372,24	R\$ 191.710,81
Manutenção	R\$ 37.381,07	R\$ -
Valor de tarifa de energia para ilum. não residencial (R\$/kWh)	0,52748	0,52748
Consumo (kWh) <i>(em 40.000 horas de uso)</i>	513.600	350.400
Custo da energia <i>(em 40.000 horas de uso)</i>	R\$ 270.913,73	R\$ 184.828,99
Total de gastos (R\$)	R\$ 359.667,04	R\$ 376.539,80
Economia final com o sistema de iluminação LED		
Mais caro R\$ 16.872,76 ou 5%		
Retorno do investimento		
Custo mensal	R\$ 2.031,85	R\$ 1.386,22
Redução mensal (R\$/mês)	-	R\$ 645,64
Pay Back (meses)	217	

As duas soluções atendem os níveis de iluminância requeridos pela norma, com uma ligeira vantagem para o cenário 1. É importante ressaltar que foram utilizadas a mesma quantidade de luminárias, e como o LED tem uma potência menor, este estudo mostra que a eficiência luminosa do sistema com LEDs é muito maior em relação ao outro sistema – 82 lm/W contra 66 lm/W.

O tempo de 40.000 horas nesta equivale a aproximadamente 11 anos. Para uma indústria, é um tempo muito bom para não ter gastos com manutenção. Uma melhor avaliação desta economia gerada pode ser observada pelo retorno do investimento, que não acontece de forma vantajosa, mesmo com um consumo mensal 32% menor.

A qualidade da luz é melhor para a solução com LEDs, para uma temperatura de cor semelhante. Para uma área de costura este valor foi considerado aceitável porque atualmente nas bancadas de trabalho existe iluminação direcionada com qualidade para a execução de tarefas que requerem precisão.

Os resultados obtidos neste exemplo indicam que financeiramente não compensa a implementação de um sistema com LED.

6.5 Iluminação para Agências Bancárias

Os níveis de iluminância recomendados para agências bancárias, pela norma ABNT NBR 5413 são: atendimento ao público, guichês, salas de gerente (lux): 300 - 500 – 750.

O modelo proposto é um salão de uma agência bancária com formato retangular, de dimensões 15 m x 20 m, abrangendo uma área de 300 m², com pé direito de 5 m.

A partir dessas informações, a simulação foi realizada no DIALUX, com o auxílio do assistente, que retornou a iluminância média do sistema e a quantidade de luminárias em cada cenário avaliado.

Foram utilizadas soluções da Philips. Os dois cenários analisados são:

Cenário 1: sistema de iluminação composto por 72 luminárias, cada uma com 2 lâmpadas fluorescentes de 28W, cada. $E_m=547$ lux.

Cenário 2: iluminação com 63 luminárias, cada uma com um módulo de LED de 47W. $E_m=598$ lux.

Características técnicas e comerciais:

	Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	TCC (K)	IRC	Vida Útil (horas)	Preço
Lâmpadas TL5	28	2180	4000	85	24000	R\$ 27,52
Luminária Arano Light Box	47	4250	4000	>80	50000	R\$ 3.236,47

Luminária Eco FIX TCS260: R\$ 339,78

Reator Eco Master (67) para 2xTL5-28 W: potência: 6 W e preço: R\$ 47,27

A luminária Eco Fix fornece um design inovador e é uma interessante alternativa para escritórios e lojas que desejam trocar seu sistema de iluminação antigo. Possui tampa de fácil remoção, que pode ser ajustada para iluminação direta ou direta/indireta.

A luminária Arano foi desenvolvida para melhorar o desempenho do sistema de iluminação. Sua utilização com fontes de luz LED fornece excelentes resultados de eficiência. Podem ser conectadas para formar fileiras.



FIGURA 6.7 - SOLUÇÕES PARA O BANCO [16]

A metodologia de cálculo é similar a realizada no item 6.2. Para o estudo da economia gerada pelo sistema, foram utilizados os valores de potência fornecidos pela análise do DIALUX, que se encontra no apêndice deste trabalho.

O sistema com LED consome 2,96 kW e o sistema com fluorescente, 4,46 kW.

A análise considerou 10 horas diárias de uso, de segunda a sexta. A vida útil do módulo de LED é de 50.000 horas, que será o tempo analisado no estudo para prever a economia gerada.

O investimento inicial considerado é o custo da aquisição do conjunto luminária + lâmpadas/módulos + reatores + custo da instalação:

$$Investimento_{fluorescentes} = R\$ 53.025,56$$

$$Investimento_{LED} = R\$ 207.992,63$$

A manutenção é o custo adicional com as lâmpadas fluorescentes e os reatores, durante 50.000 horas de uso. Como a vida útil da lâmpada é de 19.000 horas, serão realizadas 2 substituições de lâmpadas.

$$\text{Manutenção} = 2 \times (\text{R\$}102,31 + \text{R\$}60,00) = \text{R\$}324,63$$

O custo total da energia é calculado com base no consumo em kWh durante 50.000 horas, utilizando a tarifa não residencial da LIGHT.

Fluorescentes

$$\text{Consumo de energia (kWh)} = \frac{62 \times 50000}{1000} = 223.200 \text{ kWh}$$

$$\text{Custo da energia (R\$)} = 223.200 \times 0,52748 = \text{R\$}117.733,54$$

LED

$$\text{Consumo de energia (kWh)} = \frac{47 \times 50000}{1000} = 148.050 \text{ kWh}$$

$$\text{Custo da energia (R\$)} = 148.050 \times 0,52748 = \text{R\$}78.093,41$$

Dessa forma, ao final de 50.000 horas, os gastos totais (investimento + manutenção + energia) para o sistema com fluorescentes é de R\$ 171.083,73 e com LEDs é de R\$ 286.086,04. Para este estudo, financeiramente não compensa o uso da tecnologia LED. O custo é 67% maior (R\$ 115.002,32) ao final das 50.000 horas.

O tempo de 50.000 horas neste estudo equivale a aproximadamente 13 anos. A Tabela 6.12 contém os valores do estudo.

TABELA 6.12- AVALIAÇÃO AGÊNCIA BANCÁRIA

	Fluorescente tubular	Modulo LED
Análise do Sistema (DIALUX)		
Modelo luminária	Philips TCS260	Philips BCS640
Quantidade de luminárias	72	63
Quantidade de lâmpadas	144	63
Modelo lâmpada	TL5-28W HFP	Modulo LED48/840
Potência lâmpada (W)	28	47
Vida útil (horas)	19000	50000
Potência conjunto (W)	62	47
Fluxo luminoso conjunto (lm)	3881	4260
Potência total (W)	4464	2961
Análise Econômica		
Custo unitário (lâmpada + reator)	R\$ 102,31	-
Custo unitário (conjunto)	R\$ 387,05	R\$ 3.236,47
Investimento	R\$ 53.025,56	R\$ 207.992,63
Manutenção	R\$ 324,63	R\$ -
Valor de tarifa de energia para ilum. não residencial (R\$/kWh)	0,52748	0,52748
Consumo (kWh) (em 50.000 horas de uso)	223.200	148.050
Custo da energia (em 50.000 horas de uso)	R\$ 117.733,54	R\$ 78.093,41
Total de gastos (R\$)	R\$ 171.083,73	R\$ 286.086,04
Economia final com o sistema de iluminação LED		
Mais caro R\$115.002,32 ou 67%		
Retorno do investimento		
Custo mensal	R\$ 706,40	R\$ 468,56
Redução mensal (R\$/mês)	-	R\$ 237,84
Pay Back (meses)	652	

Por enquanto, a vantagem do LED neste estudo é apenas técnica: consome menos energia. O alto custo desta tecnologia não compensa a redução de luminárias e custo mensal de energia, que fica em torno 34%.

Para um investimento que é três vezes superior e ao fim de sua vida útil ele ainda foi mais alto 67% do que a alternativa, ele não é adequado.

Existem hoje ainda milhares de sistemas de iluminação com fluorescentes e muitos deles são eficientes. Existem lâmpadas com vida útil de até 25.000 horas, baixa concentração de mercúrio e emissão de CO₂. E elas têm um preço muito mais competitivo que a versão LED. É importante que para cada projeto, haja um estudo detalhado do projeto

luminotécnico, a fim de se verificar a possibilidade ou não de utilizar o LED. Esta luminária de LED utilizada no estudo é um lançamento, por isso ainda possui o preço elevado.

Essa ainda é uma barreira para os LEDs, se desenvolver mais rápido que as lâmpadas fluorescentes, que também têm tido lançamento de soluções mais ecologicamente corretas. Enquanto isso não ocorrer, o LED corre o risco de ser tratado como artigo de luxo, porque ele possibilita a criação de luminárias com *designs* arrojados e inovadores. E os produtos voltados para este tipo de consumidor, certamente não vão ser utilizados por 50.000 horas.

Logo, até a questão da diminuição do volume de descarte pode não surtir efeito. Instituições bancárias procuram sempre manter um ambiente moderno, que exalte o consumismo, então essa possibilidade é real. E claro, as instituições bancárias podem utilizar soluções mais caras para valorizar a idéia de ser uma empresa sustentável, um status importante nos dias atuais.

6.6 Iluminação Pública

A aplicação estudada é voltada para a iluminação pública de ruas urbanas, com calçadas de pedestres. Os níveis de iluminância recomendados pela norma ABNT NBR 5413 são: áreas públicas com arredores escuros (lux): 20 - 30 – 50.

O modelo proposto para análise é um trecho de uma via reta, como seguinte perfil:

Faixa verde 1: Largura: 3 m

Passeio 1: Largura: 2 m

Pista de rodagem 1: Largura: 7 m, com 2 faixas de rodagem

Passeio 2 : Largura: 2 m

Faixa verde 2 : Largura: 3 m

Comprimento da via: 90 m

Este comprimento da via é apenas uma amostra. Quando se fala em sistemas de iluminação pública, a área de projeto considerada é sempre muito maior. Os postes das luminárias foram dispostos nos dois lados da rua, de forma intercalada. A distância entre

dois postes do mesmo lado da rua é de 15 m. A amostragem considera um sistema com 14 luminárias.

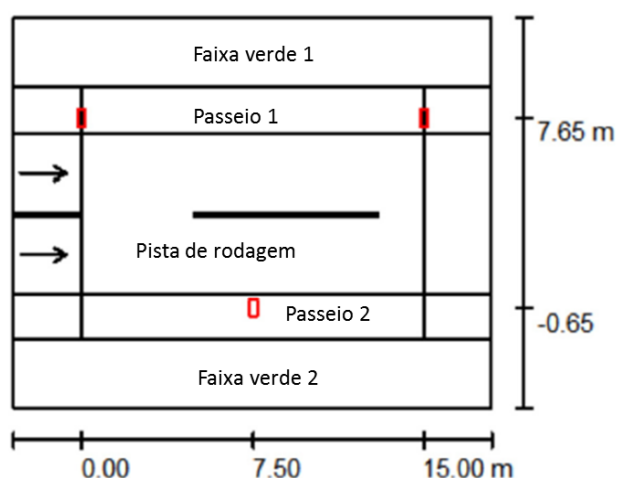


FIGURA 6.8 – REPRESENTAÇÃO DA VIA PÚBLICA

Foram analisados dois cenários.

Cenário 1: o sistema de iluminação é composto por luminárias Philips Selenium modelo SGP340 e lâmpadas de vapor de sódio 70 W.

O cenário 2: possui luminárias Selenium modelo BGP340, com o módulo LED Green Line de aproximadamente 55 W incorporado.

Características técnicas e comerciais:

	Potência (W)	Fluxo luminoso (lm)	TCC (K)	IRC	Vida Útil (horas)	Preço
Lâmpadas SON	70	6600	2000	25	22000	R\$ 66,82
Luminária SELENIUM LED	55	5520	4000	>60	50000	R\$ 1.625,97

Luminária Selenium SGP340 : R\$ 1.382,93

As luminárias Selenium SGP340 iluminam estradas e ruas com eficiência, graças a presença de um refletor ótico de altíssima qualidade. Podem ser utilizadas com lâmpadas de vapor de sódio em formato compacto ou ovóide.

As luminárias Selenium LED possuem um formato arredondado que reduz o seu impacto visual durante o dia, e lhe permite ser adaptada para vários tipos de ambientes. Com algumas soluções convencionais, pode render uma economia de até 60% no consumo de energia. A tecnologia LEDGINE no interior da luminária garante uma distribuição eficiente e uniforme de luz. E possui instalação e manutenção simples: conectores e acessórios podem ser acessados diretamente, sem uso de ferramentas.



FIGURA 6.9 - SOLUÇÕES PARA A ILUMINAÇÃO PÚBLICA [16]

Os valores de iluminância média encontrados encontram-se na Tabela 6.13. Nela podemos perceber que o nível de iluminância para a área de passeio não está dentro das recomendações da NBR-5413.

TABELA 6.13- VALORES DE ILUMINÂNCIA PARA A ILUM. PÚBLICA

<i>Cenário 1</i>	Iluminancia (lux)	<i>Cenário 2</i>	Iluminancia (lux)
Passeio	13	Passeio	22
Pista de rodagem	24	Pista de rodagem	26

A distribuição da iluminância, ponto a ponto, para os dois cenários analisados, está no Apêndice.

A metodologia de cálculo é similar a realizada no item 6.2. Para o estudo da economia gerada pelo sistema, foram utilizados os valores de potência fornecidos pela análise do DIALUX.

O sistema de iluminação do cenário 1, com lâmpadas de vapor de sódio, tem um consumo por luminária de 80 W, enquanto a iluminação do cenário 2, com LED, consome 55 W. Além disso, a distribuição do fluxo luminoso do cenário 2 é mais eficiente.

A análise considerou 12 horas diárias de uso e o período de 50.000 horas para estudo da economia final, que é a vida útil do módulo de LED.

Para este estudo, o investimento inicial considerado é o custo da aquisição do conjunto luminária + lâmpada para o sistema com vapor de sódio, já que no sistema com LED o módulo de LED é incorporado à luminária.

$$Investimento_{vapor\ de\ s\acute{o}dio} = 14 \times (1.382,93 + 66,82 + 65,00) = R\$ 21.206,52$$

$$Investimento_{LED} = 14 \times (1.625,97 + 65,00) = R\$ 23.673,62$$

Ou seja, o investimento com LEDs é menor. A vida útil das lâmpadas de vapor de sódio é igual a 22.000 horas, logo o número de reposição (em número inteiro) ao final do período é:

$$Reposi\c{c}\tilde{a}o = \frac{50000}{22000} = 2$$

A manutenção é o custo adicional com as lâmpadas de vapor de sódio, ou seja, o custo de realizar 1 vez a substituição das lâmpadas.

$$Manuten\c{c}\tilde{a}o = 1 \times 14 \times (R\$66,82 + R\$35,00) = R\$1.425,46$$

O custo total da energia é calculado com base no consumo em kWh durante 50.000 horas, utilizando a tarifa não residencial da LIGHT.

Vapor de Sódio

$$Consumo\ de\ energia\ (kWh) = \frac{1120 \times 500000}{1000} = 56.000\ kWh$$

$$Custo\ da\ energia\ (R\$) = 56.000 \times 0,57 = R\$ 31.920,00$$

LED

$$Consumo\ de\ energia\ (kWh) = \frac{770 \times 50000}{1000} = 38.500\ kWh$$

$$Custo\ da\ energia\ (R\$) = 38.500 \times 0,57 = R\$ 21.945,00$$

Os cálculos dos totais gastos com cada sistema, bem como o custo mensal e o retorno de investimento são semelhantes aos exemplos anteriores e serão omitidos. Os resultados foram reunidos na Tabela 6.14.

TABELA 6.14- AVALIAÇÃO ILUMINAÇÃO PÚBLICA

	Vapor de Sódio	Modulo LED
Análise do Sistema (DIALUX)		
Modelo luminária	Philips SGP340 FG (Selenium)	Philips BGP340 (Selenium)
Quantidade de lâmpadas	14	14
Modelo lâmpada	SON-T	Modulo LEDgine 55S/640
Potência lâmpada (W)	70	55
Vida útil (horas)	22000	50000
Potência conjunto (W)	80	55
Fluxo luminoso luminária (lm)	4752	4802
Potência total (W)	1120	770
Análise Econômica		
Custo unitário (lâmpada)	R\$ 66,82	-
Custo unitário (conjunto)	R\$ 1.449,75	R\$ 1.625,97
Investimento	R\$ 21.206,52	R\$ 23.673,62
Manutenção	R\$ 1.425,46	R\$ -
Valor de tarifa de energia para ilum. pública (R\$/kWh)	0,57000	0,57000
Consumo (kWh) (em 100.000 horas de uso)	56.000	38.500
Custo da energia (em 100.000 horas de uso)	R\$ 31.920,00	R\$ 21.945,00
Total de gastos (R\$)	R\$ 54.551,98	R\$ 45.618,62
Economia final com o sistema de iluminação LED		
R\$8.933, ou 16%		
Retorno do investimento		
	Vapor de Sódio	Modulo LED
Custo mensal	R\$ 229,82	R\$ 158,00
Redução mensal (R\$/mês)	-	R\$ 71,82
Pay Back (meses)	34	

No final da vida útil do sistema com LED, ele tem um percentual de economia de 15% em relação ao outro.

O tempo de 50.000 horas neste estudo equivale a aproximadamente 11,5 anos. Este tempo é excelente para os cofres públicos. É claro que não estamos levando em consideração atos de vandalismo ou desastres naturais.

Outro ponto fundamental a ser analisado é tempo de retorno do investimento. Para as prefeituras é imprescindível o bom planejamento das finanças do município para planejar obras importantes para a sociedade. Nosso estudo apontou 34 meses ou aproximadamente 3 anos.

O retorno de investimento ainda é um problema para a implantação em grande escala de soluções LED na iluminação pública no Brasil. Para facilitar a autorização das prefeituras o ideal é que o projeto seja aprovado no início da gestão da prefeitura, para que o retorno financeiro possa ser percebido.

O gerente de marketing da Osram do Brasil, Marcos de Oliveira Santos, diz que a economia de energia, considerando todas as variáveis, gira em torno de 40% e que ainda diminui as emissões de CO₂, já que a iluminação pública é responsável por 25% das emissões de CO₂). Mas um grande obstáculo ainda é o investimento inicial. “O preço em geral fica entre 50% e 60% mais caro que a iluminação convencional, mas chega a 100% em alguns casos”, palavras do diretor do Ilume em São Paulo, Paulo Strazzi em 2011 [32].

No caso do nosso estudo o investimento foi 17% maior. Além de ter pouco impacto no investimento, a solução com LEDs apresenta uma temperatura de cor mais clara e um nível de IRC superior a 60, muito melhor que os atuais 25 das lâmpadas de vapor de sódio, muito embora a qualidade da luz não seja um aspecto importante para a iluminação pública.

Segundo texto de discussão “Eficiência energética na iluminação pública e o plano nacional de eficiência energética”, publicado pelo GESEL – Grupo de Estudos do Setor Elétrico, da UFRJ [34], a iluminação pública do Brasil corresponde a 3% do consumo total de energia elétrica do país, ou seja, 9,7 bilhões de kWh por ano. Então, é realmente uma grande vantagem economizar neste setor.

CONCLUSÃO

As soluções propostas para aperfeiçoar sistemas de iluminação nas aplicações sugeridas com a tecnologia LED foram todas bem sucedidas no quesito de eficiência luminosa e energética. Essas soluções também diminuem o impacto ambiental, pois não há emissão de CO₂ na atmosfera, diminui o volume de resíduos e os resíduos não são tóxicos. Entretanto, ainda se faz necessário evoluir na construção de modelos de LED com melhores valores para o IRC.

Uma grande dificuldade encontrada foi exatamente encontrar casos de sucesso da tecnologia LED substituindo as fluorescentes tubulares e compactas. Há uma grande variedade de produtos de LED no mercado para atender a aplicações para lojas e vitrines comerciais. Entretanto, as soluções encontradas não evidenciam a viabilidade financeira do uso dos LEDs nestes ambientes. Na verdade, a inserção dos LEDs nestes setores é pela grande diversidade de cores e efeitos que ele proporciona e não pelo preço.

A característica do LED de possuir longa vida útil não se traduz em uma vantagem. Com os preços elevados ele acaba sendo adquirido como artigo de luxo, pelos designs inovadores de seus produtos. Entretanto, este setor acompanha todos os lançamentos e por isso o sistema com LED pode ser descartado antes do fim de sua vida útil.

O principal problema da aplicação dos LEDs é o preço. É preciso que haja uma redução significativa para que ele se torne mais competitivo. A participação dos governos de todo o mundo na busca por soluções sustentáveis pode ajudar o LED a alcançar preços melhores nos próximos anos.

Os produtos voltados para uso residencial são os mais caros e o fator preço é fundamental para avaliação de um projeto luminotécnico neste setor. Para os setores comerciais e industriais, ainda que a comparação com sistemas mais tradicionais represente um custo final um pouco maior, existem ações de marketing que podem agregar valor à empresa, exaltando a preocupação com a sustentabilidade. Além disso, as soluções com LEDs têm design sempre inovadores e há uma incrível variedade de produtos.

Os resultados mostraram que as lâmpadas de LED não podem substituir as FLCs. De fato, os fabricantes sempre comparam a lâmpada LED com a incandescente, tecnologia que

já está com os dias contados. O estudo de caso para iluminação residencial indica que são as lâmpadas fluorescentes compactas que vão ocupar o espaço deixado pelas incandescentes. A chance do LED, em relação às fluorescentes, é de ficar junto com elas no mercado, desde que sofra uma forte redução nos preços, pois as características técnicas são equivalentes.

No Brasil, especialmente, a falta de cuidado no descarte das lâmpadas fluorescentes é um perigo real para o meio ambiente e para os humanos. Aliás, quando o assunto é o tratamento de qualquer resíduo, o país ainda tem muito para avançar. Mas a chegada de grandes eventos ao país, como a Copa de 2014 e as Olimpíadas em 2016, podem trazer alguns benefícios à cidade, pois estes eventos trazem grandes investimentos do governo. Além disso, a forte cobertura da imprensa mundial pode pressionar o governo.

É inegável que as perdas de energia elétrica devido à iluminação ineficiente são gigantescas. As lâmpadas incandescentes chegaram ao século XXI como responsáveis por uma fatia considerável do consumo de eletricidade em iluminação, principalmente quando se fala no ambiente residencial. A grande maioria destas lâmpadas pode e deve ser substituída por lâmpadas mais econômicas. A participação dos governos em todo o mundo deve tornar isso uma realidade até 2020. De forma similar, muitas lâmpadas de vapor de mercúrio podem ser trocadas por lâmpadas de vapor de sódio a alta pressão. A substituição por lâmpadas LED deve acontecer de forma mais acelerada do que aconteceu com as fluorescentes, devido à participação dos governos no processo.

Uma boa iluminação não é apenas conforto. Ela tem o poder de inibir o crime, reduzir acidentes noturnos e melhorar a produtividade durante o trabalho.

Mesmo hoje, mais de um século desde a invenção da primeira lâmpada elétrica, ainda há regiões do planeta mal iluminadas. O desejo da sociedade mundial de criar alternativas mais sustentáveis para permitir o uso racional de energia, constitui uma razão para acreditar que a última palavra sobre iluminação ainda não foi dada.

Novos estudos de caso podem ser realizados nos próximos anos para acompanhar o desenvolvimento das lâmpadas de LED. As pesquisas com LED estão a todo o vapor, e há uma possibilidade de que em alguns anos estudos semelhantes possam apresentar resultados surpreendentes. Um estudo também sobre os componentes do LED pode ajudar a entender o alto custo deste tipo de lâmpada.

Ao final deste estudo foi verificada que o LED não é, no momento, a resposta para economizar energia. O desempenho dele ainda não é majoritariamente superior. A

propaganda a respeito desta tecnologia causa uma impressão de que os sistemas com LEDs são viáveis economicamente, mas é preciso estar atento para esta propaganda, observando qual tecnologia está sendo comparada com o LED. No momento, a resposta é não.

Uma conclusão significativa é a importância da vida útil de uma lâmpada. Em um mundo dinâmico, de mudanças constantes, ela não precisa ter uma vida útil tão longa como as lâmpadas de LED, pois os ambientes sofrem mudanças em um intervalo menor, o que pode ocasionar o descarte da lâmpada ou luminária quando ela ainda está funcionando. Dado as vantagens técnicas do LED urge que o mercado consiga diminuir o custo do LED para que ele possa aumentar a sua participação no segmento das lâmpadas.

- [1] COSTA, G. J. C. Iluminação Econômica: cálculo e avaliação -4ª Edição. EDIPUCRS, 2006
- [2] WALKER, Jearl. Fundamentos de Física – 8ª Edição. LTC, 2009
- [3] GÓIS, Alexandre. LEDs na Iluminação Arquitetural – Disponível em <<http://www.lightingnow.com.br/>>. Acesso em 07/05/2012.
- [4] Portal Altenas Plus. Disponível em <<http://www.altenaplust.com.br/>>. Acesso em 10/05/2012.
- [5] SILVA, Agostinho Rosa. O que é transistor. 09/03/2000. Disponível em <<http://www.agostinhorosa.com.br/>>. Acesso em 09/09/2012.
- [6] LED – Light Emmiting Diodes (Diodos Emissores de Luz) – Disponível em <<http://www.apoioware.com/>>. Acesso em 11/09/2012.
- [7] Blog Tecnobond – Disponível em <<http://blog.tecnobond.com.br/2011/03/07/as-telas-de-lcd-led/>>. Acesso em 06/09/2012.
- [8] Iluminação: Conceitos e projetos – OSRAM.
- [9] Curiosidades Cariocas. Disponível em <<http://rio-curioso.blogspot.com.br/2008/02/iluminacao-no-rio-de-janeiro-final.html>>. Acesso em 23/09/2012
- [10] Memória Eletrobrás - <<http://www.memoria.eletronbras.com>>. Acesso em 05/10/2012
- [11] EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em <<http://www.epe.gov.br>> Acesso em 05/10/2012.
- [12] História da Iluminação Pública. Disponível em <http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2012-1/iluminacao_publica/conteudo.htm>. Acesso em 05/10/2012.

- [13] GPI – Green Power International. Disponível em <http://www.led-gpi.com/pt/index.php?option=com_content&view=article&id=47&Itemid=93>. Acesso em 06/10/2012
- [14] Goeking, Weruska. Lâmpadas e LEDs. Edição 46 de 11/2009. Revista O Setor Elétrico. Disponível em <<http://www.osetoelettrico.com.br>>. Acesso em 01/11/2012.
- [15] FREITAS, Paula Campos Fadul de. Apostila Luminotécnica e Lâmpadas Elétricas. Faculdade de Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Uberlândia.
- [16] Catálogo Philips- Disponível em <<http://www.ecat.lighting.philips.com.br/l/>>. Acesso em 07/11/2012.
- [17] ABILUX – Associação Brasileira da Indústria da Iluminação - <www.abilux.com.br>. Acesso em 20/11/2012.
- [18] Guia Prático Philips Iluminação – Disponível em <<http://www.lighting.philips.com.br>>. Acesso em 22/11/2012.
- [19] Portal Brasil. Disponível em <<http://www.brasil.gov.br>>. Acesso em 17/09/2012.
- [20] IBDA – Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura.
- [21] Portal OSRAM - <<http://www.osram.com.br>> - Acesso em 12/11/2012.
- [22] Capello, Giuliana; Krause, Maggi e Moraes, Marcio. Questão de Luz. – 09/2010. Disponível em <<http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/energia/consumo-lampadas-incandescentes-europa-reciclagem-simples-fluorescentes-led-605435.shtml>>. Último acesso em 05/11/2012.
- [23] Tecnomundo. Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/2486-o-futuro-da-imagem-telas-oled.htm>>. Acesso em 05/11/2012.
- [24] PIMENTA, José Luiz. LED. Uma Fonte de Luz Promissora. Disponível em <www.lumearquitetura.com.br>. Acesso em 05/10/2012.
- [25] SRI - Stanford Research Institute. Disponível em <<http://www.sri.com>>. Acesso em 13/11/2012.
- [26] NOWAX LED. Disponível em <<http://www.nowax.com.br>>. Acesso em 19/11/2012.

- [27] Bueno, Beatriz Dias. Longa Dependência. Edição 78 de 07/2012. Revista O Setor Elétrico. Disponível em <<http://www.osetoreletrico.com.br>>. Acesso em 19/11/2012.
- [28] Tipos e Características de Lâmpadas. - Laboratório de Iluminação da UNICAMP - <<http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/L%e2mpadas>>. Acesso em 10/05/2012.
- [29] LED ou Vapor de Sódio. Disponível em <<http://leddepot.com.br/>>. Acesso em 18/11/2012.
- [30] Strategies Unlimited. Disponível em <www.strategies-u.com>. Acesso em 10/11/2012.
- [31] Portal LIGHT SA. Disponível em <<http://www.light.com.br>>. Acesso em 20/11/2012.
- [32] Ruas e Túneis de SP Ganham Luz de LED. 07/08/2011. Disponível em <<http://www.ciadoled.com.br/blog-do-led/tags/iluminacao-publica>>. Acesso em 20/11/2012
- [33] Philips Lumileds. Disponível em <<http://www.philipslumileds.com>>. Acesso em 08/11/12.
- [34] Castro, Nilvade J. de. Dantas, Guilherme. Martelo, Ernesto. Mazzone, Antonella. Eficiência energética na iluminação pública e o plano nacional de eficiência energética. Riod de Janeiro. 11/2011. Disponível em <<http://www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/tdse/TDSE42.pdf>>. Acesso em 22/11/2012.
- [35] Tabela Iluminação Profissional Philips. Disponível em <www.philips.com/pt>. Acesso em 22/11/12.
- [36] ABNT NBR-5413. Iluminação de Interiores. 1991
- [37] ABNT NBR-5410. Instalações Elétricas de Baixa Tensão. 2004
- [38] PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Disponível em <<http://www.elektrobras.com/elb/procel/main.asp>>. Acesso em 20/11/12.
- [39] TASCHIBRA. Disponível em <<http://www.taschibra.com.br>>. Acesso em 28/11/12.
- [40] Tabela de preços de eletricitista. Fev/2012. Disponível em <<http://chiquinhoeltricitista.blogspot.com.br>>. Acesso em 28/11/12.
- [41] Sustentabilidade. Artigo da Wikipedia. Disponível em <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Sustentabilidade>>. Acesso em 30/11/12.
- [42] Como Tudo Funciona. Disponível em <<http://casa.hsw.uol.com.br/questao337.htm>>. Acesso em 30/11/12.

Resultados das simulações no DIALUX

- Aplicação: Iluminação geral–escritórios e salas de aula
- Aplicação: Iluminação geral - galpão industrial
- Aplicação: Iluminação geral – agência bancária
- Aplicação: Iluminação pública: Rua com tráfego de veículos e pedestres

Escritorios e SI de aula

Partner for Contact:
Order No.:
Company:
Customer No.:

Data: 29.11.2012
Editor(a): Simaia Nascimento



Editor(a) Simaia Nascimento
Telefone
Fax
e-Mail

Índice

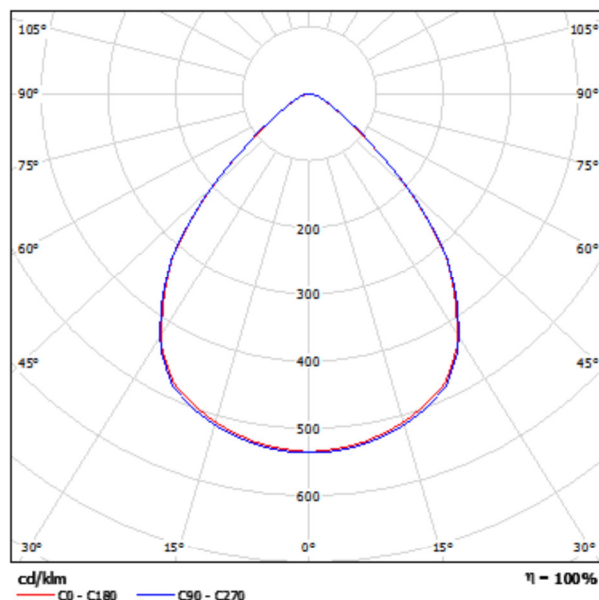
Escritorios e SI de aula

Página de rosto do projecto	1
Índice	2
Philips RC460B W30L120 1xLED34S/830	
Folha de dados de luminária	3
Philips TBS260 2xTL5-28W HFP C6	
Folha de dados de luminária	4
Cenário 1 - Fluorescentes	
Resumo	5
Planta geral	6
Resultados Luminotécnicos	7
Representação 3D	8
Cenário 2 - LEDs	
Resumo	9
Planta geral	10
Resultados Luminotécnicos	11
Representação 3D	12

Editor(a) Simaia Nascimento
 Telefone
 Fax
 e-Mail

Philips RC460B W30L120 1xLED34S/830 / Folha de dados de luminária

Emissão luminosa 1:



Classificação de luminárias conforme CIE: 100
 Código de Fluxo (CIE): 70 96 99 100 100

PowerBalance – sustainable performance

When it comes to lighting an office space with LED luminaires, people are usually willing to invest in sustainability, provided the investment pays back. At the same time, the system should comply with office lighting norms to ensure a comfortable working environment.

PowerBalance is Philips' most energy-efficient office norm-compliant LED luminaire. It saves more than 50% on energy costs compared to a T5 solution, and the light source has a longer lifetime. This results in significantly lower operational costs, ensuring a payback that meets the needs of the specification market.

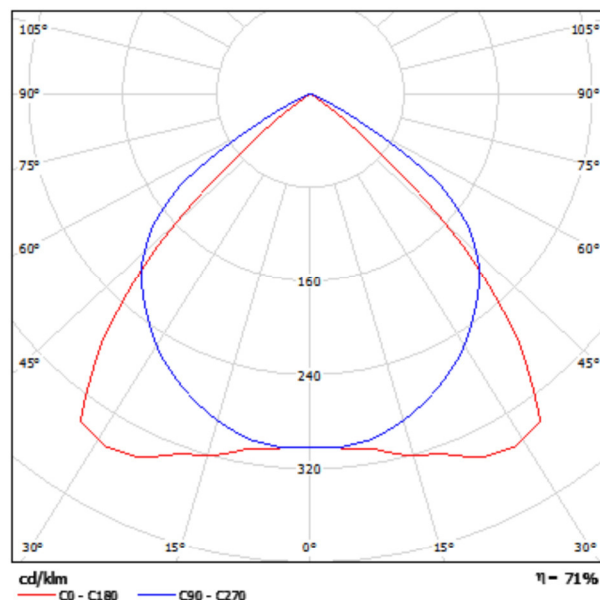
Emissão luminosa 1:

Avaliação de ofuscamento seg. UGR												
p Tecto	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30		
p Paredes	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30		
p Solo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20		
Tamanho de sala X Y	Direção transversal do olhar em relação ao eixo da lâmpada					Direção longitudinal do olhar em relação ao eixo da lâmpada						
2H	2H	9.8	10.8	10.1	11.0	11.3	9.9	10.9	10.2	11.1	11.4	
	3H	10.3	11.2	10.6	11.5	11.7	10.4	11.3	10.7	11.6	11.8	
	4H	10.5	11.3	10.8	11.6	11.8	10.6	11.4	10.9	11.7	12.0	
	6H	10.6	11.3	10.9	11.6	11.9	10.7	11.4	11.0	11.7	12.0	
	8H	10.6	11.3	10.9	11.6	11.9	10.7	11.4	11.0	11.7	12.0	
4H	12H	10.6	11.3	10.9	11.6	11.9	10.7	11.4	11.0	11.7	12.0	
	2H	10.0	10.9	10.4	11.1	11.4	10.1	10.9	10.4	11.2	11.5	
	3H	10.7	11.4	11.0	11.7	12.0	10.8	11.5	11.1	11.8	12.1	
	4H	10.9	11.5	11.3	11.9	12.2	11.0	11.6	11.4	11.9	12.3	
	6H	11.1	11.6	11.5	11.9	12.3	11.2	11.7	11.6	12.0	12.4	
8H	12H	11.1	11.6	11.5	11.9	12.4	11.2	11.7	11.6	12.1	12.5	
	2H	11.1	11.5	11.5	11.9	12.4	11.2	11.6	11.7	12.0	12.5	
	4H	11.0	11.4	11.4	11.8	12.2	11.1	11.5	11.5	11.9	12.3	
	6H	11.2	11.5	11.6	12.0	12.4	11.3	11.6	11.7	12.1	12.5	
	8H	11.2	11.6	11.7	12.0	12.5	11.3	11.7	11.8	12.1	12.6	
12H	12H	11.3	11.5	11.8	12.0	12.5	11.4	11.7	11.9	12.1	12.6	
	4H	10.9	11.4	11.4	11.8	12.2	11.0	11.5	11.5	11.9	12.3	
	6H	11.2	11.5	11.6	11.9	12.4	11.3	11.6	11.7	12.0	12.5	
	8H	11.2	11.5	11.7	12.0	12.5	11.3	11.6	11.8	12.1	12.6	
Variação de posição do observador para as distâncias de luminária S												
S = 1.0H	+1.5 / -2.6					+1.5 / -2.6						
S = 1.5H	+2.5 / -4.8					+2.5 / -4.7						
S = 2.0H	+3.9 / -5.6					+3.9 / -5.5						
Tabela padrão	BK01					BK01						
Adicional de correção	-7.7					-7.6						
Índices de ofuscamento corrigidos com referência a 3400lm (luminância total)												

Editor(a) Simaia Nascimento
 Telefone
 Fax
 e-Mail

Philips TBS260 2xTL5-28W HFP C6 / Folha de dados de luminária

Emissão luminosa 1:



Classificação de luminárias conforme CIE: 100
 Código de Fluxo (CIE): 67 100 100 100 71

EFix – simple mounting

EFix recessed TBS260 is a modular recessed luminaire for TL5 fluorescent lamps. Measuring only 55 mm in overall height and featuring a very flat rim, it fits in 600 mm grids in exposed, concealed and plaster ceilings.

EFix recessed TBS260 offers a choice of mini-optics and has been optimized for general lighting applications and offers standard slots for ventilation.

The optional Luxsense control delivers automatic energy savings. By reacting to the level of daylight the artificial light will be adjusted, enabling significant savings on energy costs. The luminaire comes with an external connection system enables the mains connection to be made without opening the luminaire, and lamps included, making it extremely easy to mount in position. The EFix recessed TBS260 range comprises square 3- and 4-lamp and rectangular 2-lamp versions.

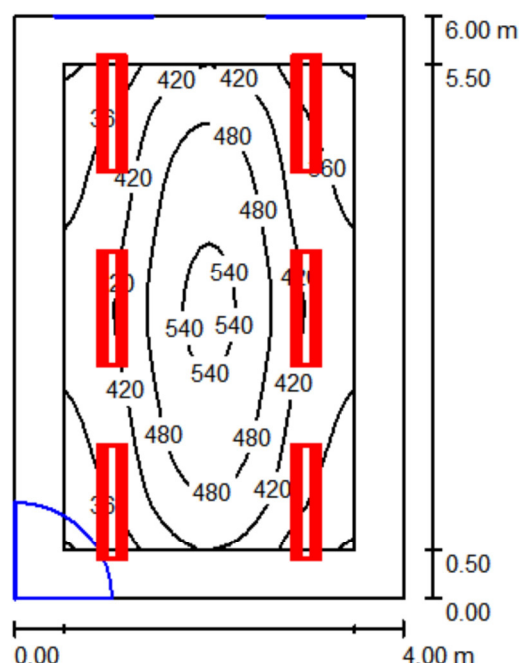
EFix surface-mounted TCS260 and EFix suspended TPS260 complete Philips' range of luminaires for general lighting applications in offices and shops.

Emissão luminosa 1:

Avaliação de ofuscamento seg. UGR										
p Tecto	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30
p Paredes	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30
p Solo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Tamanho da sala X Y		Direção transversal do olhar em relação ao eixo da lâmpada					Direção longitudinal do olhar em relação ao eixo da lâmpada			
2H	2H	1.4	2.4	1.6	2.6	2.8	17.7	18.8	18.0	19.0
	3H	1.2	2.1	1.5	2.4	2.6	17.6	18.5	17.9	18.7
	4H	1.2	2.0	1.5	2.3	2.5	17.5	18.4	17.8	18.6
	6H	1.1	1.8	1.4	2.1	2.4	17.5	18.2	17.8	18.5
	8H	1.0	1.8	1.4	2.1	2.4	17.4	18.2	17.8	18.4
12H	1.0	1.7	1.4	2.0	2.3	17.4	18.1	17.7	18.4	
4H	2H	1.2	2.0	1.5	2.3	2.5	17.5	18.4	17.8	18.6
	3H	1.0	1.7	1.4	2.0	2.4	17.4	18.1	17.7	18.4
	4H	1.0	1.6	1.3	1.9	2.2	17.3	17.9	17.7	18.3
	6H	0.9	1.4	1.3	1.8	2.2	17.2	17.8	17.6	18.1
	8H	0.8	1.3	1.3	1.7	2.1	17.2	17.7	17.6	18.1
12H	0.8	1.2	1.2	1.6	2.1	17.2	17.6	17.6	18.0	
8H	4H	0.8	1.3	1.3	1.7	2.1	17.2	17.7	17.6	18.1
	6H	0.8	1.1	1.2	1.6	2.0	17.1	17.5	17.6	17.9
	8H	0.7	1.1	1.2	1.5	2.0	17.1	17.4	17.5	17.9
	12H	0.7	1.0	1.2	1.4	1.9	17.0	17.3	17.5	17.8
	12H	0.8	1.2	1.2	1.6	2.1	17.2	17.6	17.6	18.0
12H	6H	0.7	1.1	1.2	1.5	2.0	17.1	17.4	17.5	17.9
	8H	0.7	1.0	1.2	1.4	1.9	17.0	17.3	17.5	17.8
	12H	0.7	1.0	1.2	1.4	1.9	17.0	17.3	17.5	17.8
Variação de posição do observador para as distâncias de luminária S										
S = 1.0H		+2.3 / -10.5					+1.0 / -1.3			
S = 1.5H		+3.7 / -11.3					+2.2 / -6.4			
S = 2.0H		+5.4 / -18.7					+4.1 / -23.0			
Tabel padrão		B100					B100			
Adicional de correção		-10.6					-7.8			
Índices de ofuscamento corrigidos com referência a 5250lm Corrente luminosa total										

Editor(a) Simaia Nascimento
 Telefone
 Fax
 e-Mail

Cenário 1 - Fluorescentes / Resumo



Altura da sala: 2.800 m, Altura de montagem: 2.854 m, Factor de manutenção: 0.50

Valores em Lux, Escala 1:78

Superfície	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano de uso	/	426	295	554	0.691
Solo	20	326	204	428	0.627
Tecto	80	63	53	75	0.838
Paredes (4)	50	155	53	293	/

Plano de uso:

Altura: 0.800 m
 Grelha: 32 x 32 Pontos
 Zona marginal: 0.500 m

UGR

Parede esquerda <10
 Parede inferior <10
 (CIE, SHR = 1.00.)

Longitudinal-

17
 18

Transversal

em relação ao eixo da luminária

Proporção de potência luminosa (segundo LG7): Paredes / Plano de uso: 0.356, Tecto / Plano de uso: 0.148.

Lista de luminárias

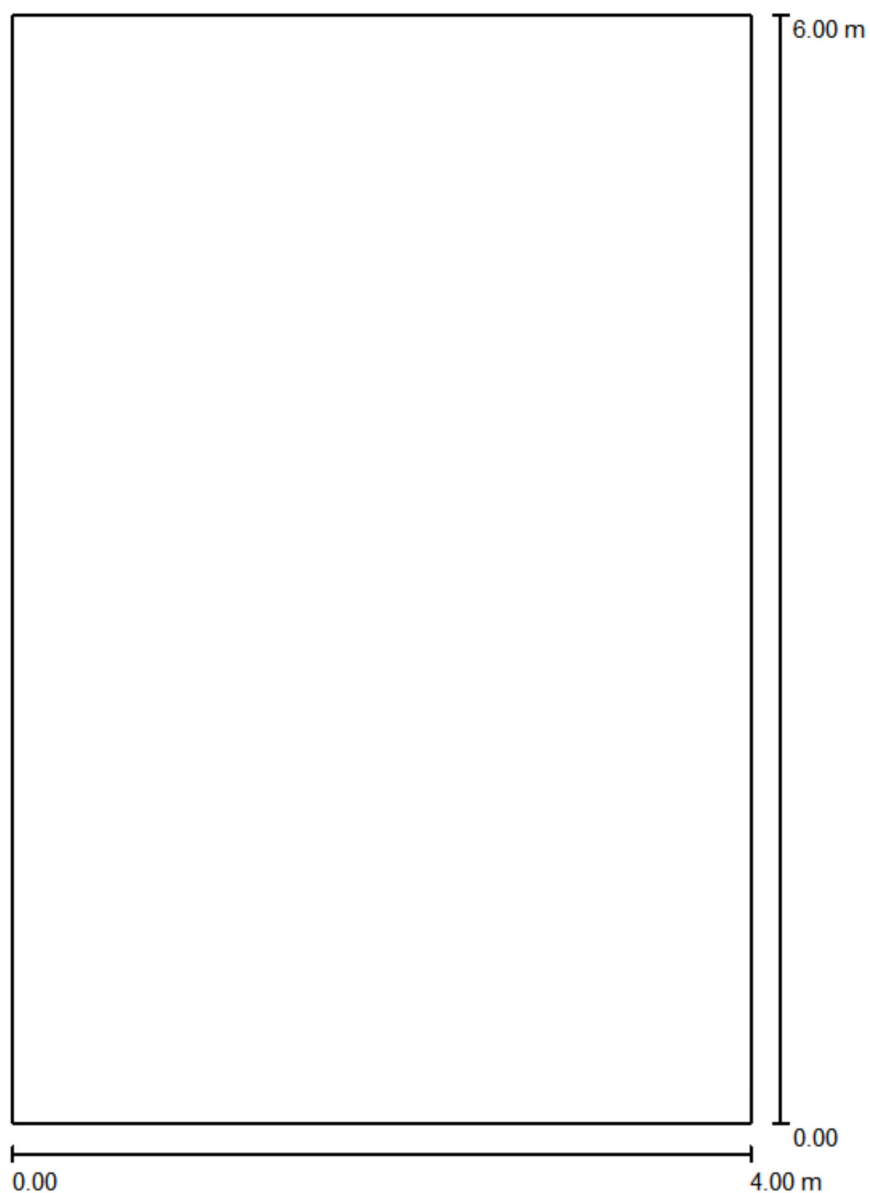
Nº	Unid.	Denominação (Factor de correcção)	Φ (Luminária) [lm]	Φ (Lâmpadas) [lm]	P [W]
1	6	Philips TBS260 2xTL5-28W HFP C6 (1.000)	3727	5250	62.0
Total:			22365	31500	372.0

Potência específica: $15.50 \text{ W/m}^2 = 3.64 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superfície básica: 24.00 m^2)



Editor(a) Simaia Nascimento
Telefone
Fax
e-Mail

Cenário 1 - Fluorescentes / Planta geral



Escala 1 : 41



Editor(a) Simaia Nascimento
 Telefone
 Fax
 e-Mail

Cenário 1 - Fluorescentes / Resultados Luminotécnicos

Fluxo luminoso total: 22365 lm
 Potência total: 372.0 W
 Factor de manutenção: 0.50
 Zona marginal: 0.500 m

Superfície	Iluminâncias médias [lx]			Grau de reflexão [%]	Luminância média [cd/m²]
	directo	indirecto	total		
Plano de uso	361	65	426	/	/
Solo	253	73	326	20	21
Tecto	0.00	63	63	80	16
Parede 1	99	66	165	50	26
Parede 2	86	67	153	50	24
Parede 3	91	65	156	50	25
Parede 4	84	67	151	50	24

Uniformidades no plano de uso

E_{\min} / E_m : 0.691 (1:1)

E_{\min} / E_{\max} : 0.532 (1:2)

UGR

Parede esquerda

Parede inferior

(CIE, SHR = 1.00.)

Longitudinal-

<10

<10

Transversal

17

18

em relação ao

eixo da

luminária

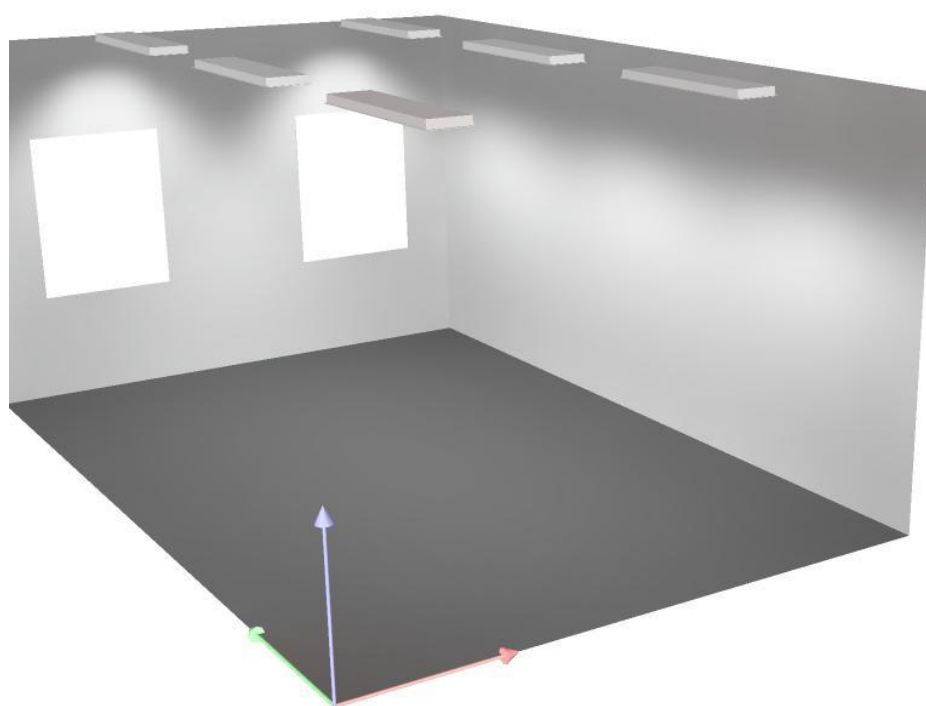
Proporção de potência luminosa (segundo LG7): Paredes / Plano de uso: 0.356, Tecto / Plano de uso: 0.148.

Potência específica: $15.50 \text{ W/m}^2 = 3.64 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superfície básica: 24.00 m^2)



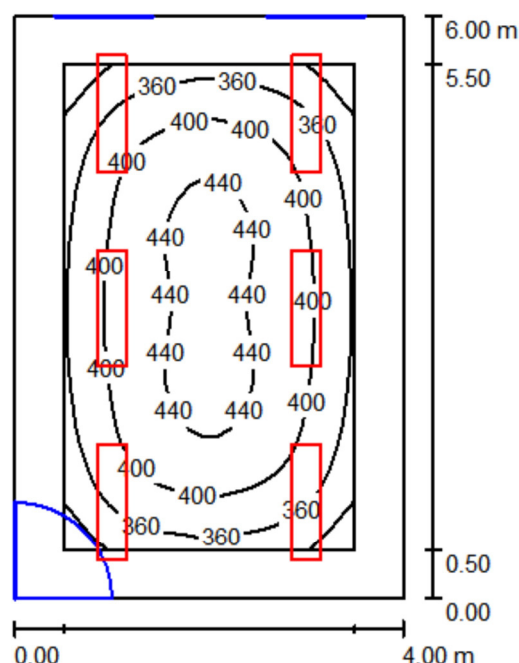
Editor(a) Simaia Nascimento
Telefone
Fax
e-Mail

Cenário 1 - Fluorescentes / Representação 3D



Editor(a) Simaia Nascimento
 Telefone
 Fax
 e-Mail

Cenário 2 - LEDs / Resumo



Altura da sala: 2.800 m, Altura de montagem: 2.895 m, Factor de manutenção: 0.50

Valores em Lux, Escala 1:78

Superfície	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano de uso	/	395	286	455	0.724
Solo	20	303	179	395	0.592
Tecto	80	58	44	69	0.747
Paredes (4)	50	140	53	225	/

Plano de uso:

Altura: 0.800 m
 Grelha: 32 x 32 Pontos
 Zona marginal: 0.500 m

UGR

Parede esquerda 10
 Parede inferior 10
 (CIE, SHR = 1.00.)

Longitudinal-

Transversal

em relação ao eixo da luminária

Proporção de potência luminosa (segundo LG7): Paredes / Plano de uso: 0.347, Tecto / Plano de uso: 0.147.

Lista de luminárias

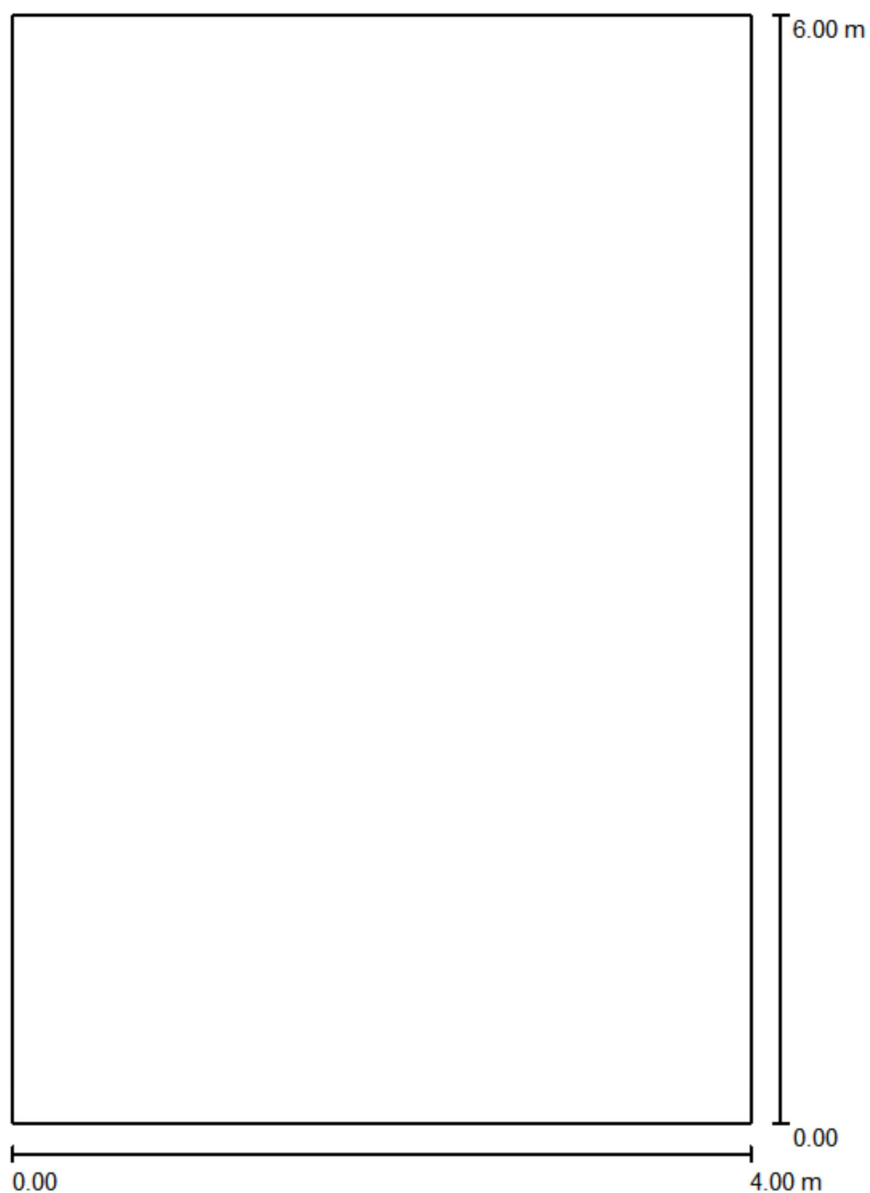
Nº	Unid.	Denominação (Factor de correcção)	Φ (Luminária) [lm]	Φ (Lâmpadas) [lm]	P [W]
1	6	Philips RC460B W30L120 1xLED34S/830 (1.000)	3400	3400	36.0
Total:			20400	20400	216.0

Potência específica: $9.00 \text{ W/m}^2 = 2.28 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superfície básica: 24.00 m^2)



Editor(a) Simaia Nascimento
Telefone
Fax
e-Mail

Cenário 2 - LEDs / Planta geral



Escala 1 : 41



Editor(a) Simaia Nascimento
 Telefone
 Fax
 e-Mail

Cenário 2 - LEDs / Resultados Luminotécnicos

Fluxo luminoso total: 20400 lm
 Potência total: 216.0 W
 Factor de manutenção: 0.50
 Zona marginal: 0.500 m

Superfície	Iluminâncias médias [lx]			Grau de reflexão [%]	Luminância média [cd/m²]
	directo	indirecto	total		
Plano de uso	336	59	395	/	/
Solo	237	65	303	20	19
Tecto	0.01	58	58	80	15
Parede 1	81	61	142	50	23
Parede 2	81	61	142	50	23
Parede 3	73	59	132	50	21
Parede 4	80	61	141	50	22

Uniformidades no plano de uso

E_{\min} / E_{\max} : 0.724 (1:1)

E_{\min} / E_{\max} : 0.630 (1:2)

UGR

Parede esquerda

Parede inferior

(CIE, SHR = 1.00.)

Longitudinal-

10

10

Transversal

10

11

em relação ao
eixo da
luminária

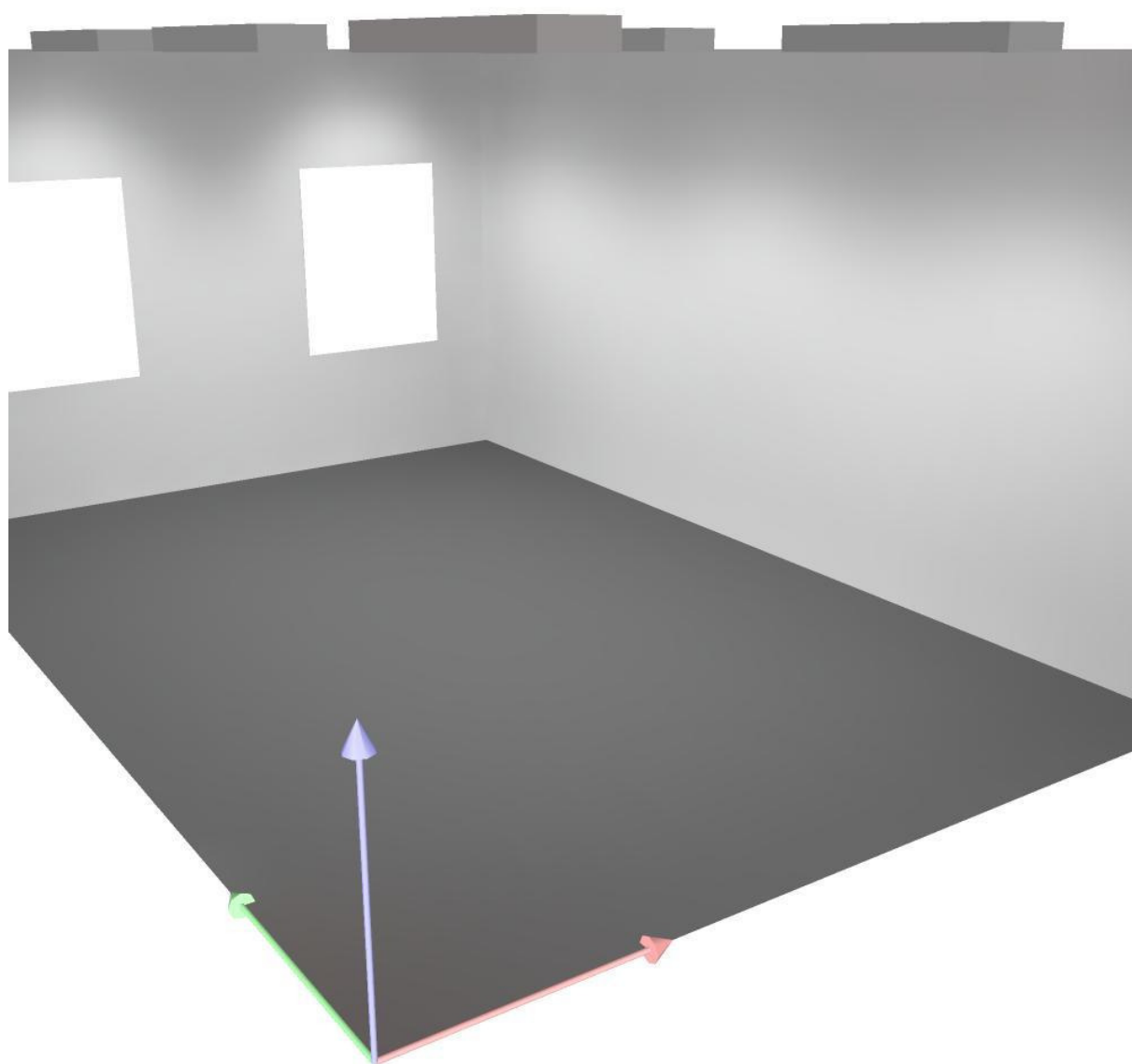
Proporção de potência luminosa (segundo LG7): Paredes / Plano de uso: 0.347, Tecto / Plano de uso: 0.147.

Potência específica: $9.00 \text{ W/m}^2 = 2.28 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superfície básica: 24.00 m^2)



Editor(a) Simaia Nascimento
Telefone
Fax
e-Mail

Cenário 2 - LEDs / Representação 3D



Galpao Industrial

Partner for Contact:
Order No.:
Company:
Customer No.:

Data: 29.11.2012
Editor(a): Simaia Nascimento



Editor(a) Simaia Nascimento
Telefone
Fax
e-Mail

Índice

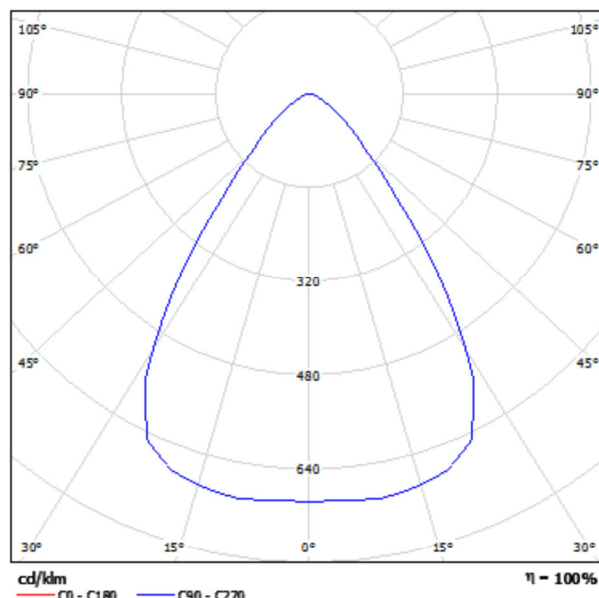
Galpao Industrial

Página de rosto do projecto	1
Índice	2
Philips BY461P 1xLED240S/740 MB GC	
Folha de dados de luminária	3
Philips HPK380 1xHPI-P400W-BU P-MB +GPK380 AR D546	
Folha de dados de luminária	4
Cenário 1 - vapor metalico	
Resumo	5
Planta geral	6
Resultados Luminotécnicos	7
Representação 3D	8
Cenário 2- LED	
Resumo	9
Planta geral	10
Resultados Luminotécnicos	11
Representação 3D	12

Editor(a) Simaia Nascimento
 Telefone
 Fax
 e-Mail

Philips BY461P 1xLED240S/740 MB GC / Folha de dados de luminária

Emissão luminosa 1:



Classificação de luminárias conforme CIE: 100
 Código de Fluxo (CIE): 84 97 100 100 100

GentleSpace – taking high-bay lighting to the next level

Customers in industrial and warehousing applications are constantly looking for ways to reduce the amount of energy required to light their facilities. GentleSpace is the first LED high-bay luminaire that can directly replace HID high-bays of up to 400 W, enabling significant energy savings. LEDs also provide instant light and the possibility to dim the light level. And GentleSpace is DALI-dimmable, so even more energy can be saved.

The luminaire comes in two sizes and offers a choice of dedicated high-quality optics, which fill the space with a gentle, comfortable light. All versions include steady Grippler Y-fit hangers that can carry up to 45 kg for easy and secure installation. GentleSpace is also equipped with a high-quality, thermally toughened, extra-white glass cover for high translucence. Its flat design saves space at the top of the building, leaving room for e.g. sprinkler installations

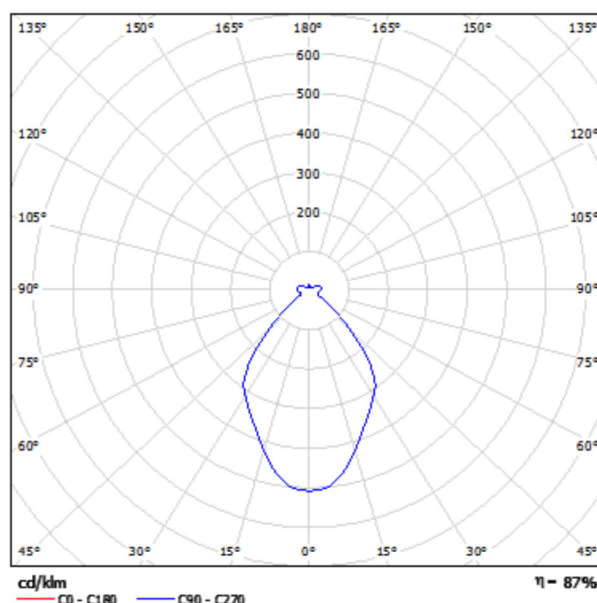
Emissão luminosa 1:

Avaliação de ofuscamento seg. UGR											
p Tecto	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30	
p Paredes	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30	
p Solo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Tamanho da sala X Y		Direcção transversal do olhar em relação ao eixo da lâmpada					Direcção longitudinal do olhar em relação ao eixo da lâmpada				
2H	2H	16.6	17.4	16.8	17.6	17.8	16.6	17.4	16.8	17.6	17.8
	3H	17.2	17.9	17.5	18.2	18.4	17.2	17.9	17.5	18.2	18.4
	4H	17.4	18.1	17.7	18.3	18.6	17.4	18.1	17.7	18.3	18.6
	6H	17.6	18.2	17.9	18.5	18.8	17.6	18.2	17.9	18.5	18.8
	8H	17.6	18.2	17.9	18.5	18.8	17.6	18.2	17.9	18.5	18.8
12H	17.6	18.2	17.9	18.5	18.8	17.6	18.2	17.9	18.5	18.8	
4H	2H	16.7	17.4	17.0	17.7	17.9	16.7	17.4	17.0	17.7	17.9
	3H	17.5	18.1	17.9	18.4	18.7	17.5	18.1	17.9	18.4	18.7
	4H	17.8	18.3	18.2	18.6	19.0	17.8	18.3	18.2	18.6	19.0
	6H	18.1	18.5	18.5	18.9	19.3	18.1	18.5	18.5	18.9	19.3
	8H	18.2	18.5	18.6	18.9	19.3	18.2	18.5	18.6	18.9	19.3
12H	18.2	18.5	18.6	18.9	19.3	18.2	18.5	18.6	18.9	19.3	
8H	4H	17.9	18.3	18.3	18.7	19.1	17.9	18.3	18.3	18.7	19.1
	6H	18.3	18.6	18.7	19.0	19.4	18.3	18.6	18.7	19.0	19.4
	8H	18.4	18.6	18.8	19.1	19.5	18.4	18.6	18.8	19.1	19.5
	12H	18.4	18.6	18.9	19.1	19.6	18.4	18.6	18.9	19.1	19.6
	12H	17.9	18.2	18.3	18.6	19.0	17.9	18.2	18.3	18.6	19.0
6H	18.3	18.5	18.7	19.0	19.4	18.3	18.5	18.7	19.0	19.4	
8H	18.4	18.6	18.9	19.1	19.6	18.4	18.6	18.9	19.1	19.6	
Variação de posição do observador para as distâncias de luminária S											
S = 1.0H		+2.2 / -2.2					+2.2 / -2.2				
S = 1.5H		+4.3 / -3.5					+4.3 / -3.5				
S = 2.0H		+6.1 / -4.4					+6.1 / -4.4				
Tabel padrão		BK01					BK01				
Adicional de correção		-8.2					-8.2				
Índices de ofuscamento corrigidos com referência a 2400lm Corrente luminosa total											

Editor(a) Simaia Nascimento
 Telefone
 Fax
 e-Mail

Philips HPK380 1xHPI-P400W-BU P-MB +GPK380 AR D546 / Folha de dados de luminária

Emissão luminosa 1:



Classificação de luminárias conforme CIE: 87
 Código de Fluxo (CIE): 71 90 94 87 87

PerformaLux – a real performer

The PerformaLux HPK380 luminaire has been designed to offer the best light output on the market and to withstand harsh industrial conditions.

The best-in-class light output ratio means fewer luminaires are required to maintain the desired lighting level, thus reducing total cost of ownership.

An integrated beam adjuster provides extra flexibility when set-ups or production layouts are changed. The beam width can be modified from narrow to medium or wide using a simple handle.

Although initially designed for industrial applications, the robust design of this luminaire, combined with a wide range of light sources and both aluminum and decorative translucent reflectors, makes it suitable for other general lighting applications, e.g. shops and department stores.

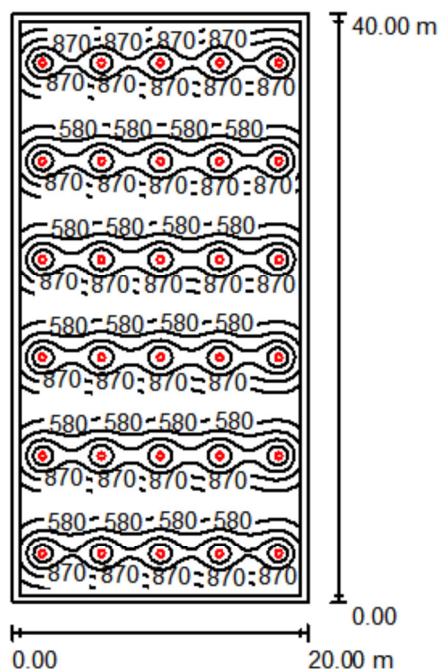
The PerformaLux HPK380 is available in three sizes: large, medium and small.

Emissão luminosa 1:

Avaliação de ofuscamento seg. UGR												
p Tecto	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30	70	70
p Paredes	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30	50	30
p Solo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Tamanho da sala X Y	Direção transversal do eixo em relação ao eixo da lâmpada					Direção longitudinal do eixo em relação ao eixo da lâmpada						
2H	2H	14.9	15.8	15.4	16.2	16.7	14.9	15.8	15.4	16.2	16.7	16.7
	3H	16.8	17.6	17.3	18.1	18.6	16.8	17.6	17.3	18.1	18.6	18.6
	4H	18.3	19.0	18.8	19.5	20.1	18.3	19.0	18.8	19.5	20.1	20.1
	6H	20.3	21.0	20.9	21.5	22.1	20.3	21.0	20.9	21.5	22.1	22.1
	8H	21.6	22.2	22.1	22.8	23.3	21.6	22.2	22.1	22.8	23.3	23.3
	12H	23.0	23.7	23.6	24.2	24.8	23.0	23.7	23.6	24.2	24.8	24.8
4H	2H	15.2	16.0	15.8	16.5	17.0	15.2	16.0	15.8	16.5	17.0	17.0
	3H	17.6	18.3	18.2	18.8	19.4	17.6	18.3	18.2	18.8	19.4	19.4
	4H	19.4	20.0	20.0	20.6	21.2	19.4	20.0	20.0	20.6	21.2	21.2
	6H	21.8	22.3	22.4	22.9	23.5	21.8	22.3	22.4	22.9	23.5	23.5
	8H	23.2	23.6	23.8	24.2	24.9	23.2	23.6	23.8	24.2	24.9	24.9
	12H	24.8	25.2	25.4	25.8	26.5	24.8	25.2	25.4	25.8	26.5	26.5
8H	4H	20.2	20.7	20.8	21.3	22.0	20.2	20.7	20.8	21.3	22.0	22.0
	6H	22.9	23.2	23.5	23.9	24.6	22.9	23.2	23.5	23.9	24.6	24.6
	8H	24.4	24.8	25.1	25.4	26.2	24.4	24.8	25.1	25.4	26.2	26.2
	12H	26.3	26.6	27.0	27.2	28.0	26.3	26.6	27.0	27.2	28.0	28.0
	4H	20.5	20.9	21.1	21.5	22.2	20.5	20.9	21.1	21.5	22.2	22.2
	6H	23.2	23.6	23.9	24.2	25.0	23.2	23.6	23.9	24.2	25.0	25.0
12H	8H	24.9	25.2	25.6	25.9	26.7	24.9	25.2	25.6	25.9	26.7	26.7
	12H	26.3	26.6	27.0	27.2	28.0	26.3	26.6	27.0	27.2	28.0	28.0
Variação de posição do observador para as distâncias de luminária S												
S = 1.0H	+0.3 / -0.3					+0.3 / -0.3						
S = 1.5H	+0.6 / -0.7					+0.6 / -0.7						
S = 2.0H	+1.2 / -1.0					+1.2 / -1.0						
Tabela padrão	---					---						
Adicional de correção	---					---						
Índices de ofuscamento corrigidos com referência a 3250lm Corrente luminosa total												

Editor(a) Simaia Nascimento
 Telefone
 Fax
 e-Mail

Cenário 1 - vapor metalico / Resumo



Altura da sala: 5.000 m, Altura de montagem: 4.400 m, Factor de manutenção: 0.80

Valores em Lux, Escala 1:514

Superfície	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano de uso	/	858	334	1737	0.390
Solo	20	805	315	1291	0.391
Tecto	70	246	175	419	0.709
Paredes (4)	50	331	201	623	/

Plano de uso:

Altura: 0.800 m
 Grelha: 128 x 128 Pontos
 Zona marginal: 0.500 m

Proporção de potência luminosa (segundo LG7): Paredes / Plano de uso: 0.376, Tecto / Plano de uso: 0.287.

Lista de luminárias

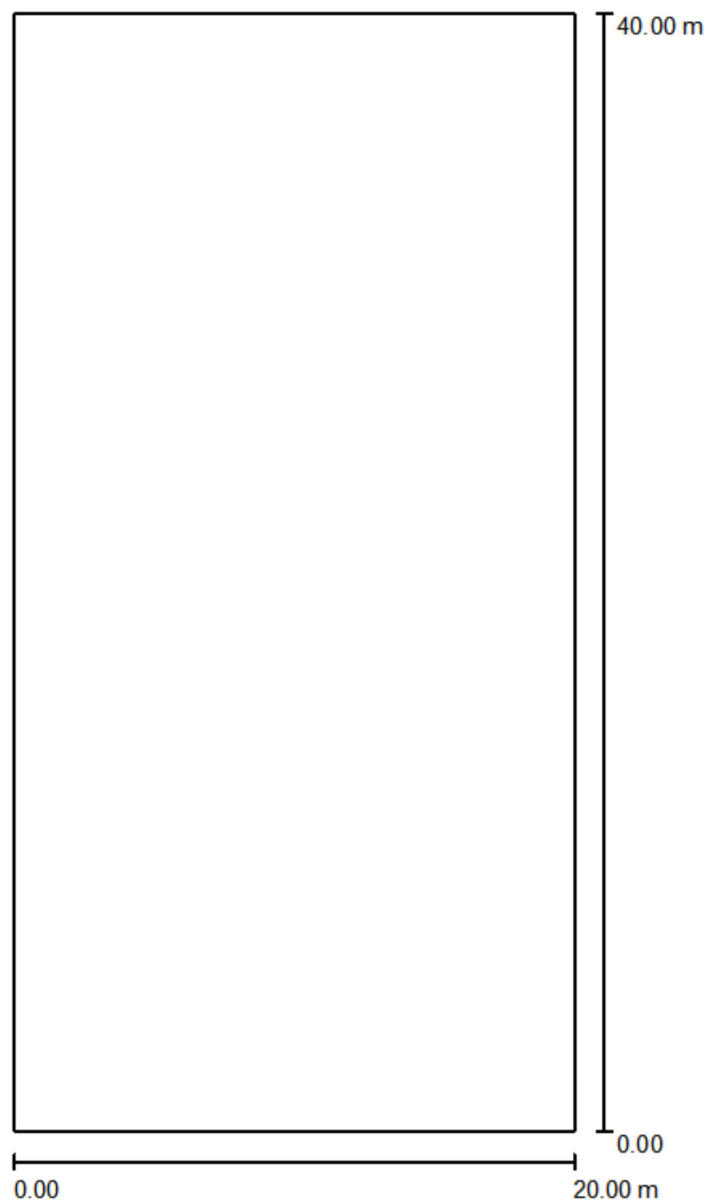
Nº	Unid.	Denominação (Factor de correcção)	Φ (Luminária) [lm]	Φ (Lâmpadas) [lm]	P [W]
1	30	Philips HPK380 1xHPI-P400W-BU P-MB +GPK380 AR D546 (1.000)	28275	32500	428.0
Total:			848250	975000	12840.0

Potência específica: $16.05 \text{ W/m}^2 = 1.87 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superfície básica: 800.00 m^2)



Editor(a) Simaia Nascimento
Telefone
Fax
e-Mail

Cenário 1 - vapor metalico / Planta geral



Escala 1 : 271



Editor(a) Simaia Nascimento
Telefone
Fax
e-Mail

Cenário 1 - vapor metalico / Resultados Luminotécnicos

Fluxo luminoso total: 848250 lm
Potência total: 12840.0 W
Factor de manutenção: 0.80
Zona marginal: 0.500 m

Superfície	Iluminâncias médias [lx]			Grau de reflexão [%]	Luminância média [cd/m²]
	directo	indirecto	total		
Plano de uso	687	171	858	/	/
Solo	633	172	805	20	51
Tecto	84	162	246	70	55
Parede 1	137	158	295	50	47
Parede 2	189	160	349	50	56
Parede 3	137	159	296	50	47
Parede 4	189	159	349	50	55

Uniformidades no plano de uso

E_{\min} / E_m : 0.390 (1:3)

E_{\min} / E_{\max} : 0.192 (1:5)

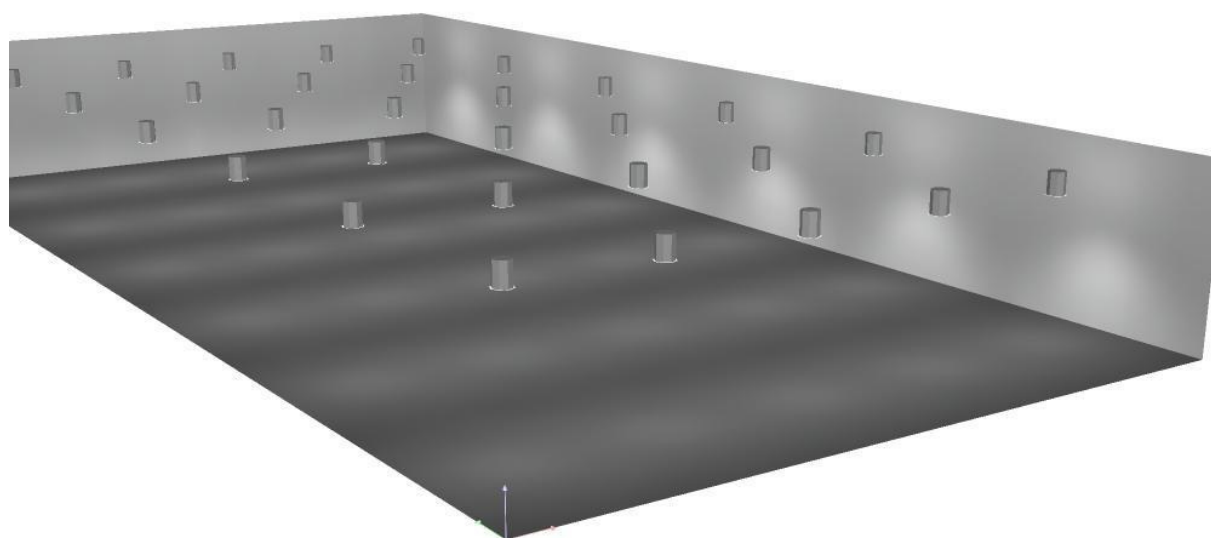
Proporção de potência luminosa (segundo LG7): Paredes / Plano de uso: 0.376, Tecto / Plano de uso: 0.287.

Potência específica: $16.05 \text{ W/m}^2 = 1.87 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superfície básica: 800.00 m^2)



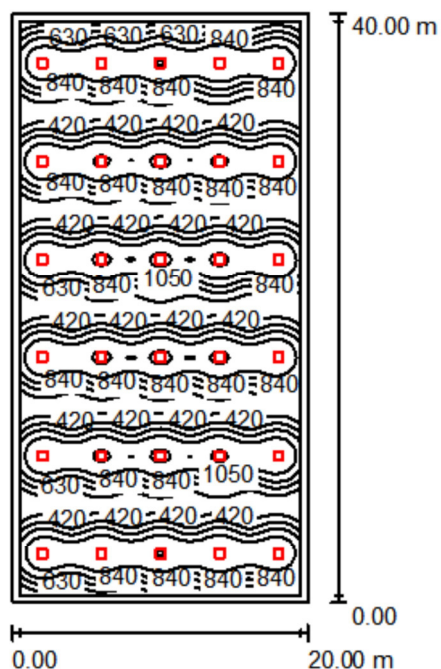
Editor(a) Simaia Nascimento
Telefone
Fax
e-Mail

Cenário 1 - vapor metalico / Representação 3D



Editor(a) Simaia Nascimento
 Telefone
 Fax
 e-Mail

Cenário 2- LED / Resumo



Altura da sala: 5.000 m, Altura de montagem: 4.400 m, Factor de manutenção: 0.80

Valores em Lux, Escala 1:514

Superfície	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano de uso	/	796	247	1294	0.310
Solo	20	751	240	1161	0.319
Tecto	70	133	95	153	0.713
Paredes (4)	50	197	94	501	/

Plano de uso:

Altura: 0.800 m
 Grelha: 128 x 128 Pontos
 Zona marginal: 0.500 m

Proporção de potência luminosa (segundo LG7): Paredes / Plano de uso: 0.221, Tecto / Plano de uso: 0.167.

Lista de luminárias

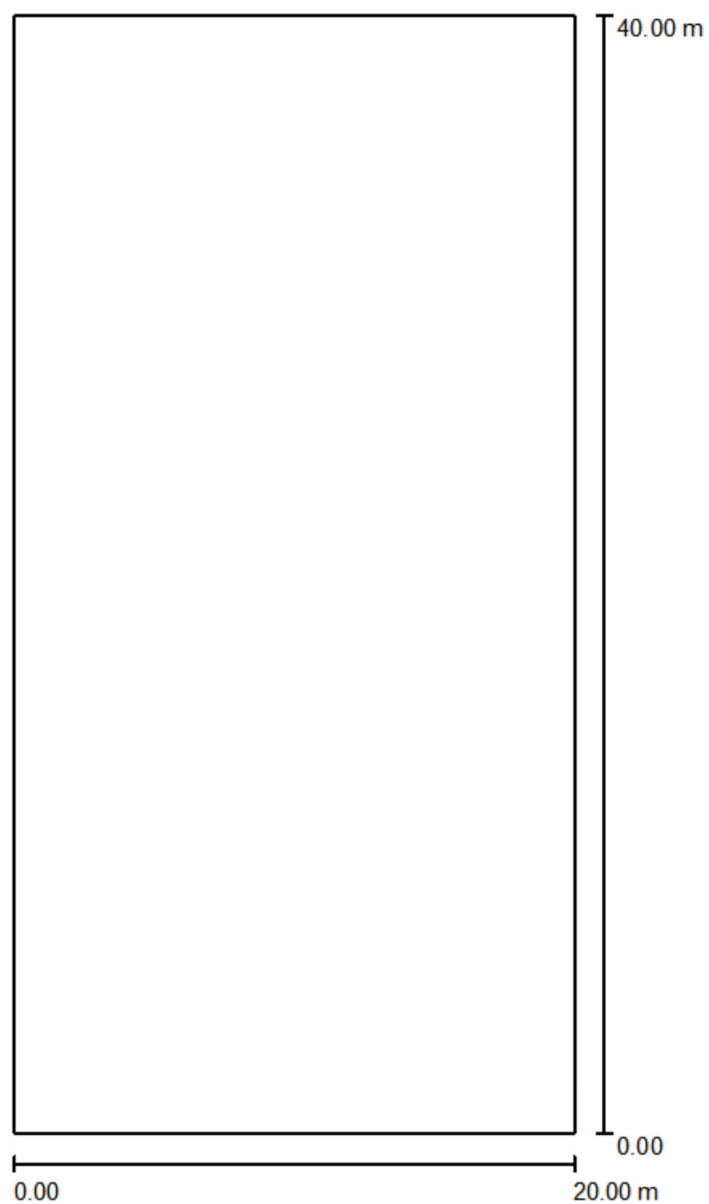
Nº	Unid.	Denominação (Factor de correcção)	Φ (Luminária) [lm]	Φ (Lâmpadas) [lm]	P [W]
1	30	Philips BY461P 1xLED240S/740 MB GC (1.000)	24000	24000	292.0
Total:			720000	720000	8760.0

Potência específica: $10.95 \text{ W/m}^2 = 1.38 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superfície básica: 800.00 m^2)



Editor(a) Simaia Nascimento
Telefone
Fax
e-Mail

Cenário 2- LED / Planta geral



Escala 1 : 271



Editor(a) Simaia Nascimento
Telefone
Fax
e-Mail

Cenário 2- LED / Resultados Luminotécnicos

Fluxo luminoso total: 720000 lm
Potência total: 8760.0 W
Factor de manutenção: 0.80
Zona marginal: 0.500 m

Superfície	Iluminâncias médias [lx]			Grau de reflexão [%]	Luminância média [cd/m²]
	directo	indirecto	total		
Plano de uso	703	94	796	/	/
Solo	653	97	751	20	48
Tecto	0.00	133	133	70	30
Parede 1	54	111	165	50	26
Parede 2	101	111	213	50	34
Parede 3	54	110	165	50	26
Parede 4	101	111	212	50	34

Uniformidades no plano de uso

E_{\min} / E_{\max} : 0.310 (1:3)

E_{\min} / E_{\max} : 0.191 (1:5)

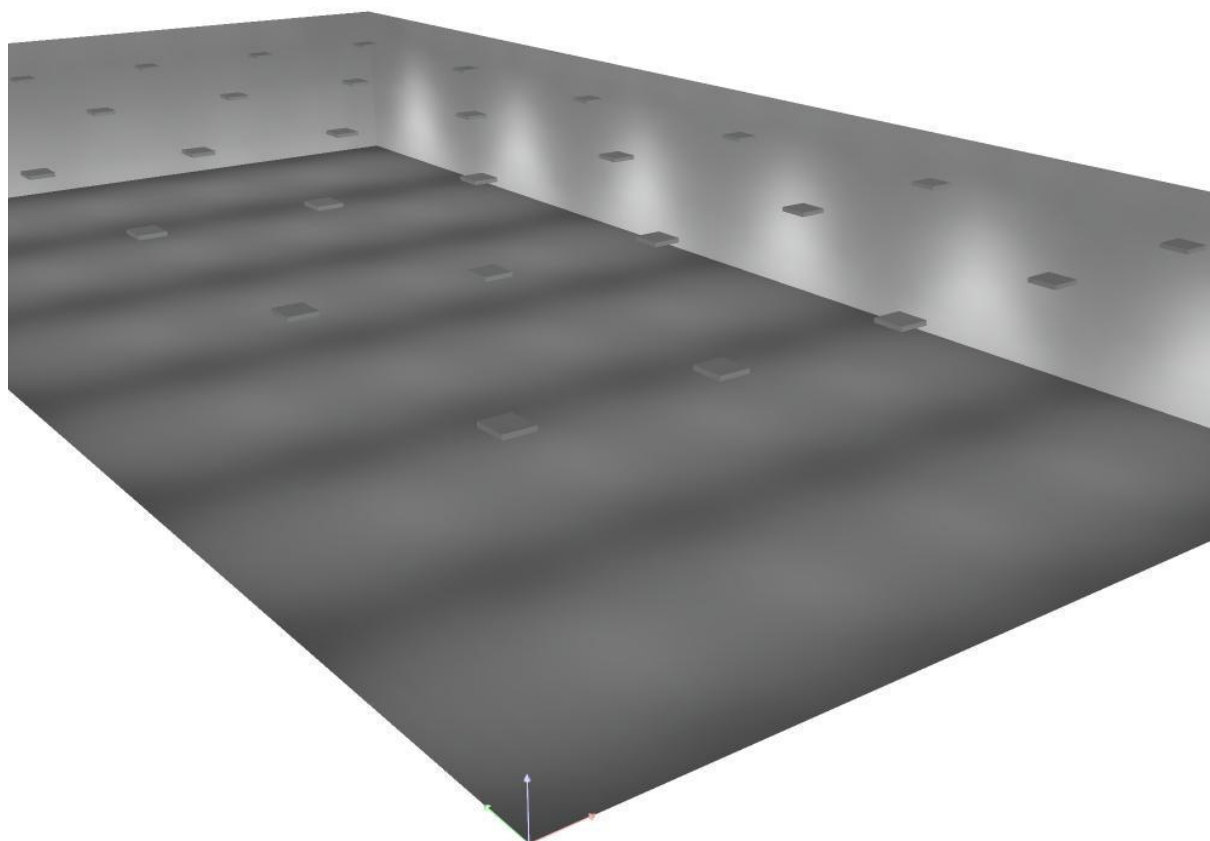
Proporção de potência luminosa (segundo LG7): Paredes / Plano de uso: 0.221, Tecto / Plano de uso: 0.167.

Potência específica: $10.95 \text{ W/m}^2 = 1.38 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superfície básica: 800.00 m^2)



Editor(a) Simaia Nascimento
Telefone
Fax
e-Mail

Cenário 2- LED / Representação 3D



Iluminação geral: Banco

Partner for Contact:
Order No.:
Company:
Customer No.:

Data: 27.11.2012
Editor(a): Simaia Nascimento



Editor(a) Simaia Nascimento
Telefone
Fax
e-Mail

Índice

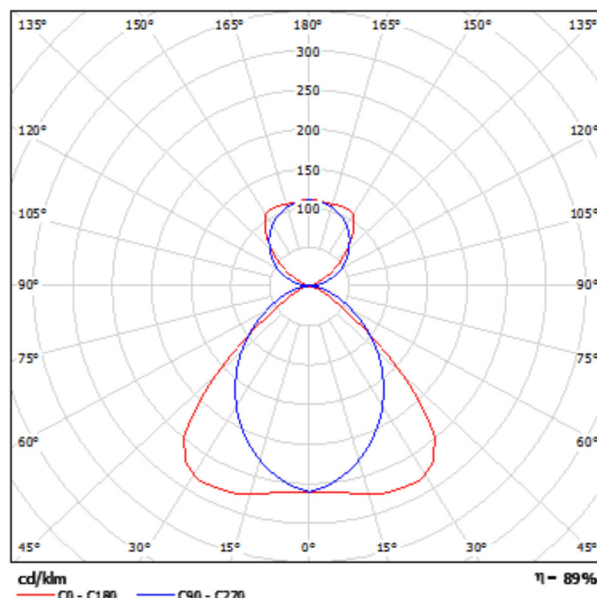
Iluminação geral: Banco

Página de rosto do projecto	1
Índice	2
Philips TCS260 D/I 2xTL5-28W HFP M2	
Folha de dados de luminária	3
Philips BCS640 W21L125 1xLED48/840 LIN-PC	
Folha de dados de luminária	4
Cenário 1 - Fluoresc.	
Resumo	5
Planta geral	6
Resultados Luminotécnicos	7
Representação 3D	8
Cenário 2 - LED	
Resumo	9
Planta geral	10
Resultados Luminotécnicos	11
Representação 3D	12

Editor(a) Simaia Nascimento
 Telefone
 Fax
 e-Mail

Philips TCS260 D/I 2xTL5-28W HFP M2 / Folha de dados de luminária

Emissão luminosa 1:



Classificação de luminárias conforme CIE: 66
 Código de Fluxo (CIE): 61 91 99 67 88

EFix – for a greener office

The EFix TL5 luminaire range is a dedicated, affordable choice of innovative lighting that enables massive energy savings to be made when old electromagnetic installations are replaced by the latest Philips technology. The range's optical performance complies with the latest EN-12464 norms, ensuring improved lighting quality in every application.

Used in combination with high-frequency gear, Philips MASTER TL5 lamps enable substantial energy savings to be made. These savings can be further increased by using a Luxsense daylight controller integrated into the luminaire.

The practical design of EFix combines both surface-mounted (TCS260) and suspended (TPS262) luminaires in one design. Thanks to the luminaires easily removable top cover, the beam can be adjusted to provide direct or indirect lighting. EFix is supplied with lamps and is ready to install, minimizing installation time. EFix recessed TBS260 completes Philips' range of luminaires for general lighting applications in offices and shops.

Emissão luminosa 1:

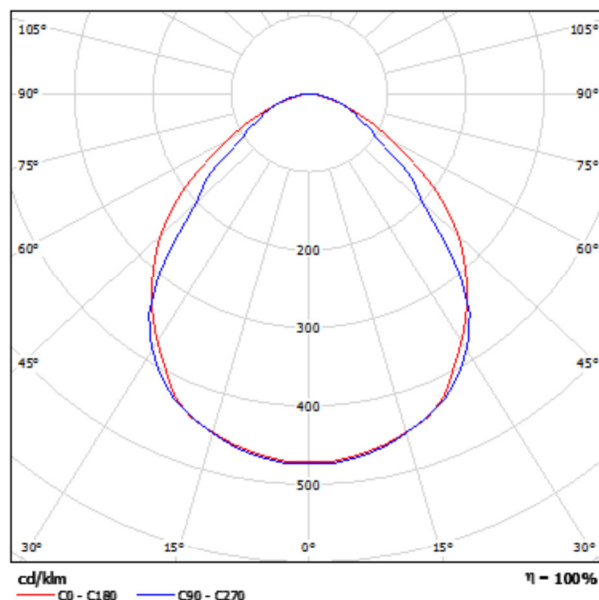
Avaliação de ofuscamento seg. UGR											
p Tecto	70	70	50	50	30	70	70	50	50	30	
p Paredes	50	30	50	30	30	50	30	50	30	30	
p Solo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
Tamanho da sala X Y		Direção transversal do olhar em relação ao eixo da lâmpada					Direção longitudinal do olhar em relação ao eixo da lâmpada				
2H	2H	13.7	14.5	14.4	15.2	16.0	17.0	17.8	17.7	18.5	19.3
	3H	14.1	14.8	14.8	15.6	16.4	17.9	18.7	18.6	19.4	20.2
	4H	14.2	14.8	14.9	15.6	16.3	18.3	18.9	19.0	19.7	20.6
	6H	14.1	14.8	14.9	15.5	16.4	18.5	19.1	19.3	19.9	20.8
	8H	14.1	14.7	14.9	15.5	16.4	18.6	19.2	19.4	20.0	20.9
4H	12H	14.0	14.6	14.8	15.4	16.3	18.6	19.2	19.4	20.0	20.9
	2H	13.9	14.6	14.7	15.4	16.3	16.9	17.6	17.6	18.3	19.2
	3H	14.6	15.2	15.4	15.9	16.9	18.0	18.5	18.8	19.3	20.3
	4H	14.7	15.2	15.5	16.0	17.0	18.4	18.9	19.3	19.7	20.7
	6H	14.7	15.2	15.6	16.0	17.0	18.8	19.2	19.7	20.1	21.1
8H	12H	14.7	15.1	15.5	15.9	16.9	18.9	19.3	19.8	20.2	21.2
	12H	14.6	15.0	15.5	15.8	16.9	19.0	19.4	19.9	20.2	21.2
	4H	14.9	15.3	15.7	16.1	17.1	18.4	18.8	19.2	19.6	20.6
	6H	15.0	15.3	15.8	16.1	17.2	18.8	19.1	19.7	20.0	21.0
	8H	15.0	15.2	15.8	16.1	17.2	19.0	19.3	19.9	20.1	21.2
12H	12H	14.9	15.1	15.8	16.0	17.1	19.1	19.3	20.0	20.2	21.3
	4H	14.9	15.2	15.8	16.1	17.1	18.3	18.7	19.2	19.5	20.5
	6H	15.0	15.3	15.9	16.1	17.2	18.8	19.0	19.6	19.9	21.0
12H	8H	15.0	15.2	15.9	16.1	17.2	18.9	19.2	19.8	20.1	21.2
Variação da posição do observador para as distâncias de luminária S											
S = 1.0H	+1.1 / -1.8					+0.3 / -0.4					
S = 1.5H	+2.4 / -3.4					+0.8 / -1.0					
S = 2.0H	+3.9 / -4.6					+1.1 / -1.5					
Tabel padrão	B101					B103					
Adicional de correção	-5.7					-3.5					
Índices de ofuscamento corrigidos com referência a 5250lm (luminância total)											



Editor(a) Simaia Nascimento
 Telefone
 Fax
 e-Mail

Philips BCS640 W21L125 1xLED48/840 LIN-PC / Folha de dados de luminária

Emissão luminosa 1:



Classificação de luminárias conforme CIE: 100
 Código de Fluxo (CIE): 61 90 99 100 100

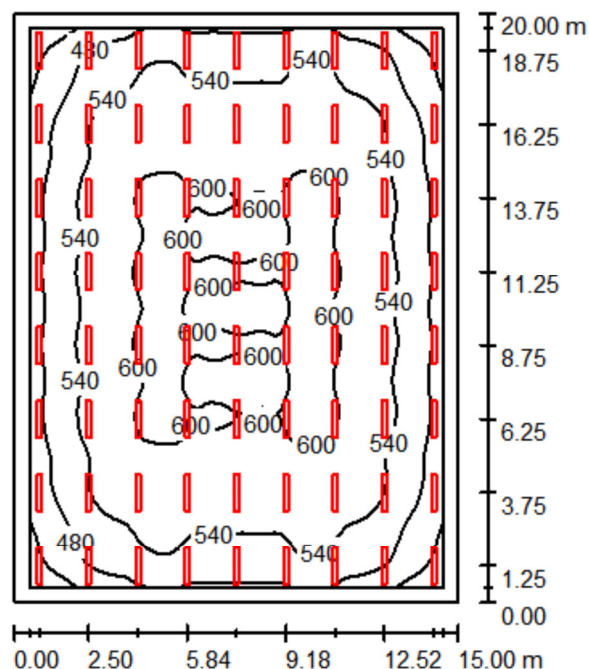
Arano – light box

Arano is a range of luminaires for TL5 fluorescent lamps and LED light sources, featuring Philips' micro-optics. The patented micro-optic with 3-D lamellae combines a miniaturist design with optimum performance in terms of light distribution, visual comfort and efficiency. And it is fully compliant with the current norm for indoor working places (EN12464-1). Surface-mounted, suspended, free-standing and wall-mounted versions are available – some with direct/indirect lighting – to create a bright, welcoming ambience. Multiple Arano luminaires can be linked to create line arrangements.



Editor(a) Simaia Nascimento
 Telefone
 Fax
 e-Mail

Cenário 1 - Fluoresc. / Resumo



Altura da sala: 4.000 m, Altura de montagem: 4.000 m, Factor de manutenção: 0.67

Valores em Lux, Escala 1:257

Superfície	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano de uso	/	547	366	619	0.670
Solo	20	502	308	600	0.614
Tecto	70	330	99	5751	0.301
Paredes (4)	50	252	142	433	/

Plano de uso:

Altura: 0.800 m
 Grelha: 64 x 64 Pontos
 Zona marginal: 0.500 m

UGR

Parede esquerda 14
 Parede inferior 14
 (CIE, SHR = 1.00.)

Longitudinal-

Transversal

em relação ao eixo da luminária

Proporção de potência luminosa (segundo LG7): Paredes / Plano de uso: 0.463, Tecto / Plano de uso: 0.580.

Lista de luminárias

Nº	Unid.	Denominação (Factor de correcção)	Φ (Luminária) [lm]	Φ (Lâmpadas) [lm]	P [W]
1	72	Philips TCS260 D/I 2xTL5-28W HFP M2 (Tipo 1)* (1.000)	3881	4361	62.0
Total:			279453	313992	4464.0

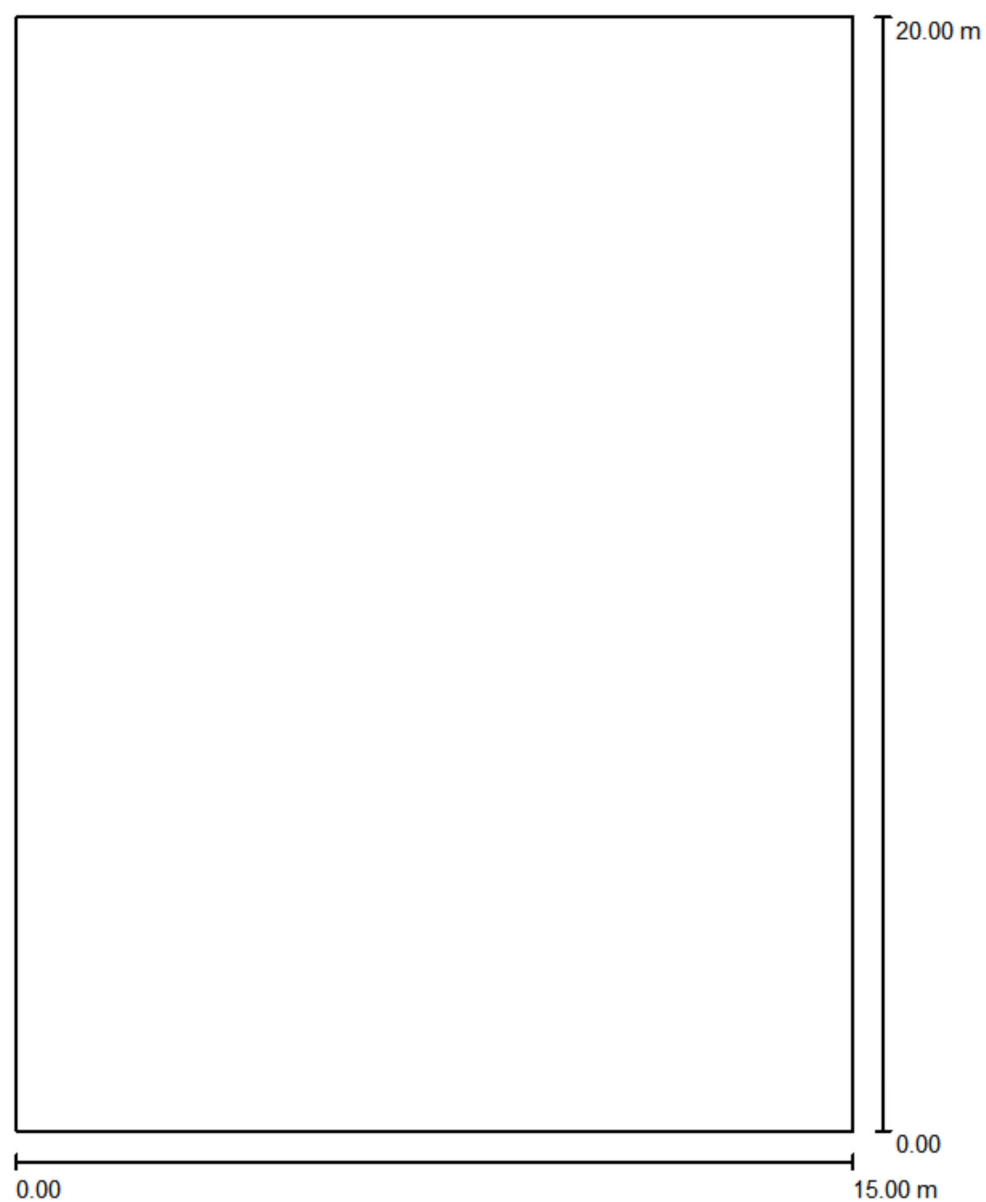
*Dados técnicos alterados

Potência específica: $14.88 \text{ W/m}^2 = 2.72 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superfície básica: 300.00 m^2)



Editor(a) Simaia Nascimento
Telefone
Fax
e-Mail

Cenário 1 - Fluoresc. / Planta geral



Escala 1 : 136



Editor(a) Simaia Nascimento
 Telefone
 Fax
 e-Mail

Cenário 1 - Fluoresc. / Resultados Luminotécnicos

Fluxo luminoso total: 279453 lm
 Potência total: 4464.0 W
 Factor de manutenção: 0.67
 Zona marginal: 0.500 m

Superfície	Iluminâncias médias [lx]			Grau de reflexão [%]	Luminância média [cd/m²]
	directo	indirecto	total		
Plano de uso	349	198	547	/	/
Solo	314	188	502	20	32
Tecto	221	110	330	70	74
Parede 1	106	143	249	50	40
Parede 2	107	146	253	50	40
Parede 3	106	147	253	50	40
Parede 4	106	145	251	50	40

Uniformidades no plano de uso

E_{\min} / E_m : 0.670 (1:1)

E_{\min} / E_{\max} : 0.592 (1:2)

UGR

Parede esquerda

Parede inferior

(CIE, SHR = 1.00.)

Longitudinal-

14

14

Transversal

18

18

em relação ao

eixo da

luminária

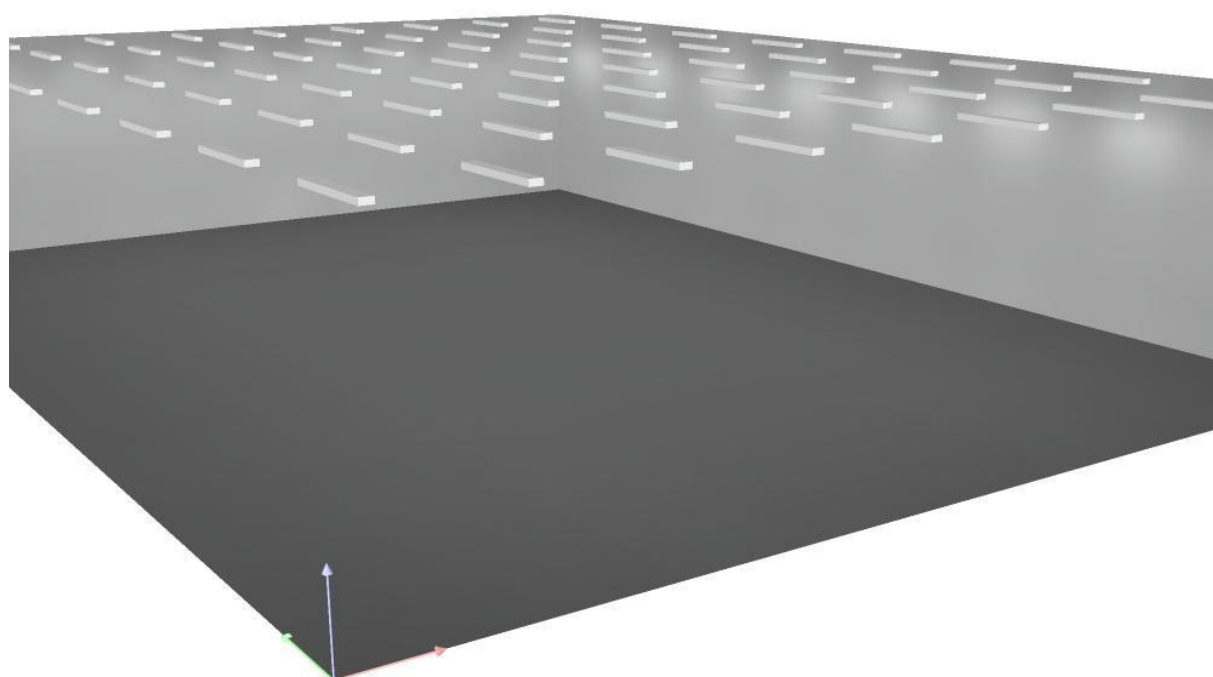
Proporção de potência luminosa (segundo LG7): Paredes / Plano de uso: 0.463, Tecto / Plano de uso: 0.580.

Potência específica: $14.88 \text{ W/m}^2 = 2.72 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superfície básica: 300.00 m^2)



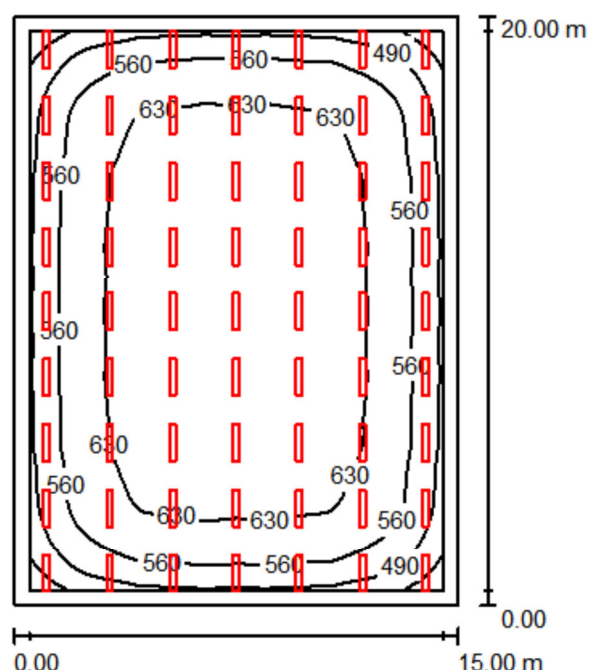
Editor(a) Simaia Nascimento
Telefone
Fax
e-Mail

Cenário 1 - Fluoresc. / Representação 3D



Editor(a) Simaia Nascimento
 Telefone
 Fax
 e-Mail

Cenário 2 - LED / Resumo



Altura da sala: 4.000 m, Altura de montagem: 4.000 m, Factor de manutenção: 0.67

Valores em Lux, Escala 1:257

Superfície	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano de uso	/	598	358	669	0.599
Solo	20	551	281	657	0.511
Tecto	70	117	98	145	0.838
Paredes (4)	50	256	103	364	/

Plano de uso:

Altura: 0.800 m
 Grelha: 64 x 64 Pontos
 Zona marginal: 0.500 m

UGR

Parede esquerda 21
 Parede inferior 20
 (CIE, SHR = 1.00.)

Longitudinal-

21
 20

Transversal

20
 19

em relação ao
 eixo da
 luminária

Proporção de potência luminosa (segundo LG7): Paredes / Plano de uso: 0.425, Tecto / Plano de uso: 0.196.

Lista de luminárias

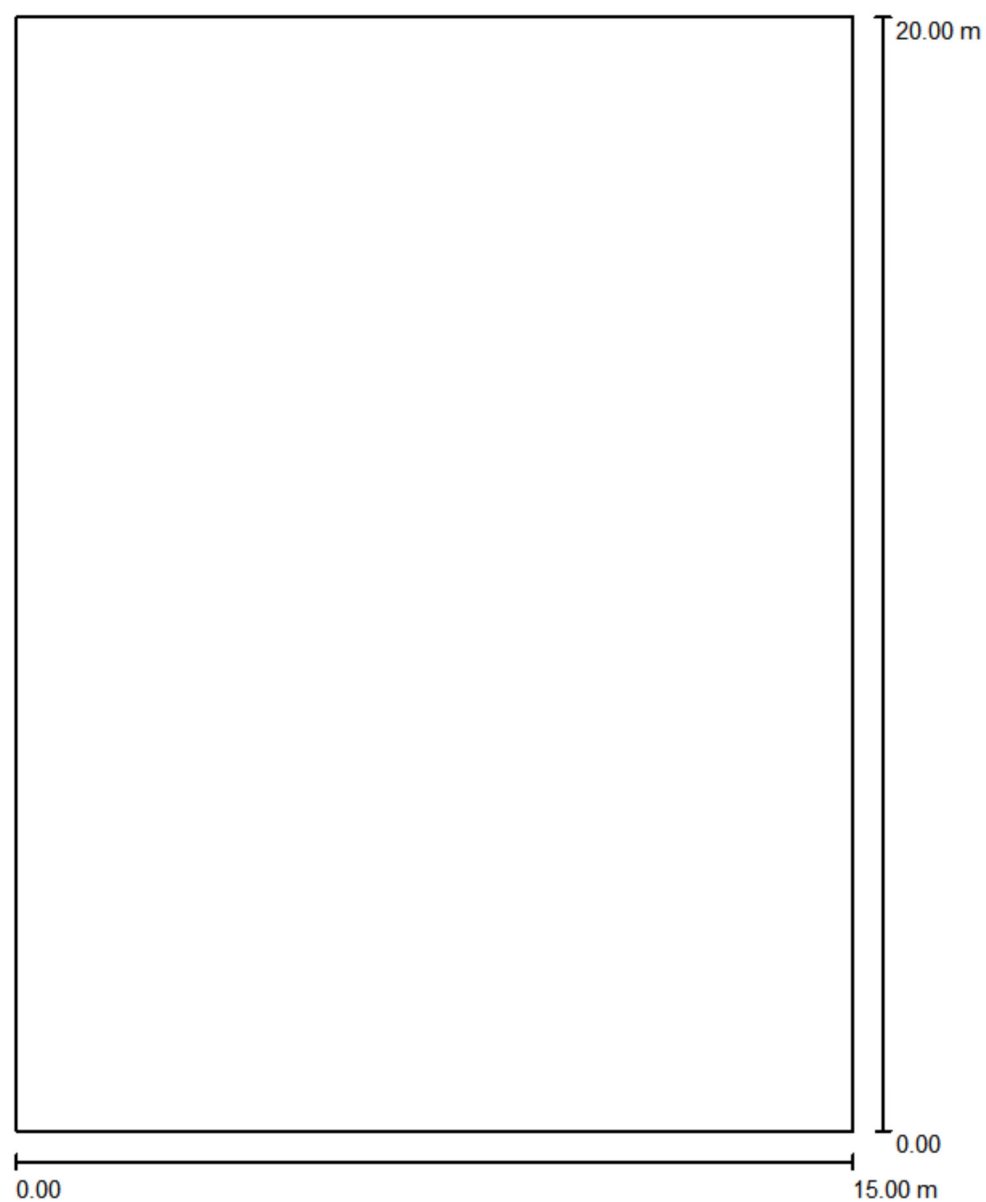
Nº	Unid.	Denominação (Factor de correcção)	Φ (Luminária) [lm]	Φ (Lâmpadas) [lm]	P [W]
1	63	Philips BCS640 W21L125 1xLED48/840 LIN-PC (1.000)	4250	4250	47.0
Total:			267750	267750	2961.0

Potência específica: $9.87 \text{ W/m}^2 = 1.65 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superfície básica: 300.00 m^2)



Editor(a) Simaia Nascimento
Telefone
Fax
e-Mail

Cenário 2 - LED / Planta geral



Escala 1 : 136



Editor(a) Simaia Nascimento
 Telefone
 Fax
 e-Mail

Cenário 2 - LED / Resultados Luminotécnicos

Fluxo luminoso total: 267750 lm
 Potência total: 2961.0 W
 Factor de manutenção: 0.67
 Zona marginal: 0.500 m

Superfície	Iluminâncias médias [lx]			Grau de reflexão [%]	Luminância média [cd/m²]
	directo	indirecto	total		
Plano de uso	504	94	598	/	/
Solo	452	99	551	20	35
Tecto	0.01	117	117	70	26
Parede 1	151	102	252	50	40
Parede 2	159	100	259	50	41
Parede 3	149	100	249	50	40
Parede 4	160	100	260	50	41

Uniformidades no plano de uso

E_{\min} / E_{\max} : 0.599 (1:2)

E_{\min} / E_{\max} : 0.535 (1:2)

UGR

Parede esquerda

Parede inferior

(CIE, SHR = 1.00.)

Longitudinal-

21

20

Transversal

20

19

em relação ao

eixo da

luminária

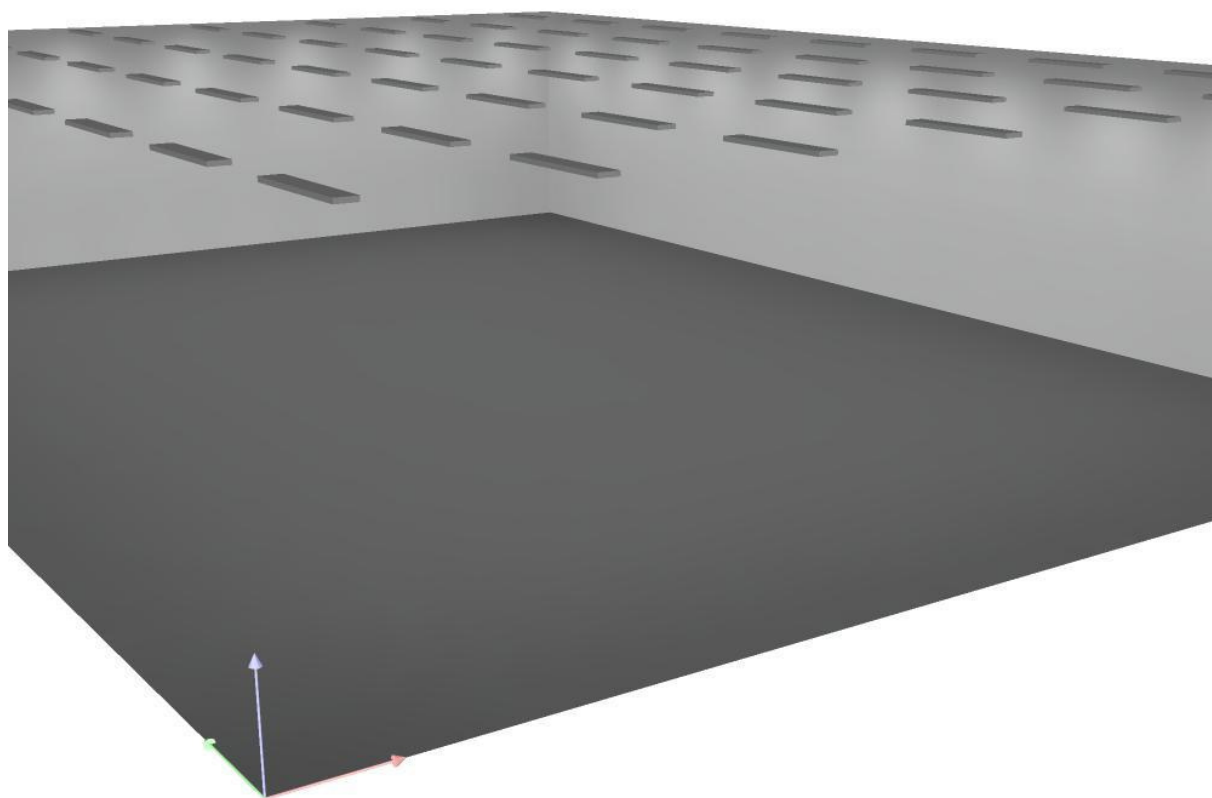
Proporção de potência luminosa (segundo LG7): Paredes / Plano de uso: 0.425, Tecto / Plano de uso: 0.196.

Potência específica: $9.87 \text{ W/m}^2 = 1.65 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Superfície básica: 300.00 m^2)



Editor(a) Simaia Nascimento
Telefone
Fax
e-Mail

Cenário 2 - LED / Representação 3D



Iluminação pública

Partner for Contact:
Order No.:
Company:
Customer No.:

Data: 27.11.2012
Editor(a): Simaia Nascimento



Editor(a) Simaia Nascimento
Telefone
Fax
e-Mail

Índice

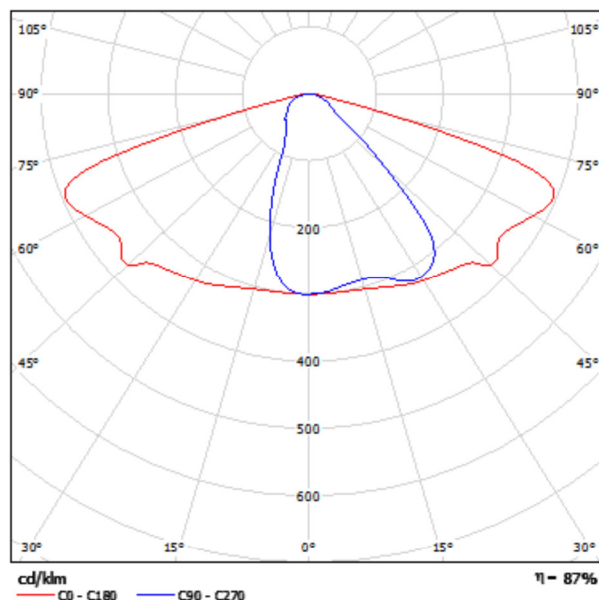
Iluminação pública

Página de rosto do projecto	1
Índice	2
Philips BGP340 1xLED55S/640 DM	
Folha de dados de luminária	3
Philips SGP340 FG 1xSON-TPP70W TP P1	
Folha de dados de luminária	4
Cenário 1 - HPS	
Resultados Luminotécnicos	5
Representação 3D	7
Campos de avaliação	
Campo de avaliação Pista de rodagem 1	
Gráfico de valores (E)	8
Campo de avaliação Passeio 1	
Gráfico de valores (E)	9
Campo de avaliação Passeio 2	
Gráfico de valores (E)	10
Cenário 2 - LED	
Representação 3D	11
Campos de avaliação	
Campo de avaliação Pista de rodagem 1	
Gráfico de valores (E)	12
Campo de avaliação Passeio 1	
Gráfico de valores (E)	13
Campo de avaliação Passeio 2	
Gráfico de valores (E)	14

Editor(a) Simaia Nascimento
 Telefone
 Fax
 e-Mail

Philips BGP340 1xLED55S/640 DM / Folha de dados de luminária

Emissão luminosa 1:



Classificação de luminárias conforme CIE: 100
 Código de Fluxo (CIE): 45 80 98 100 87

Selenium LED – simply efficient

Selenium LED is a cost-effective road-lighting luminaire, which delivers over 60% energy saving compared with conventional solutions. Its simple, rounded form reduces its daytime visual impact, allowing it to integrate into any kind of environment.

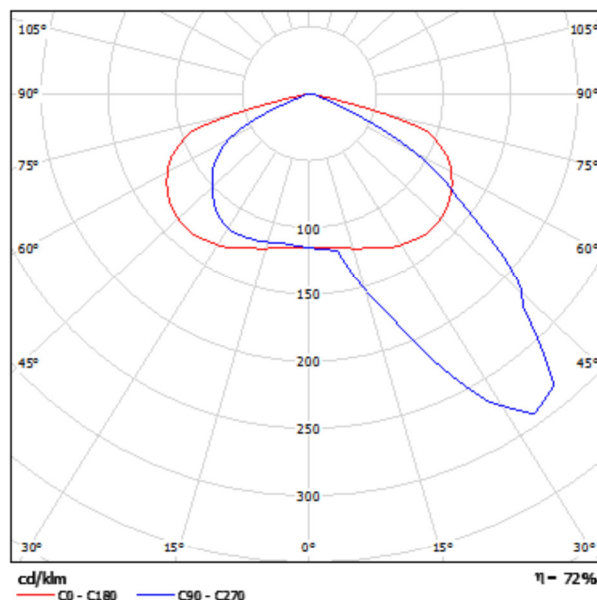
The LEDGINE technology inside the luminaire ensures an efficient and uniform light distribution, covering the widest possible range of applications. And installation and maintenance could not be simpler: connectors and driver are directly accessible, without the use of tools.

Não é possível representar tabela UGR para esta luminária porque faltam propriedades de simetria.

Editor(a) Simaia Nascimento
 Telefone
 Fax
 e-Mail

Philips SGP340 FG 1xSON-TPP70W TP P1 / Folha de dados de luminária

Emissão luminosa 1:



Classificação de luminárias conforme CIE: 100
 Código de Fluxo (CIE): 34 73 97 100 72

Não é possível representar tabela UGR para esta luminária porque faltam propriedades de simetria.

Selenium – timeless design

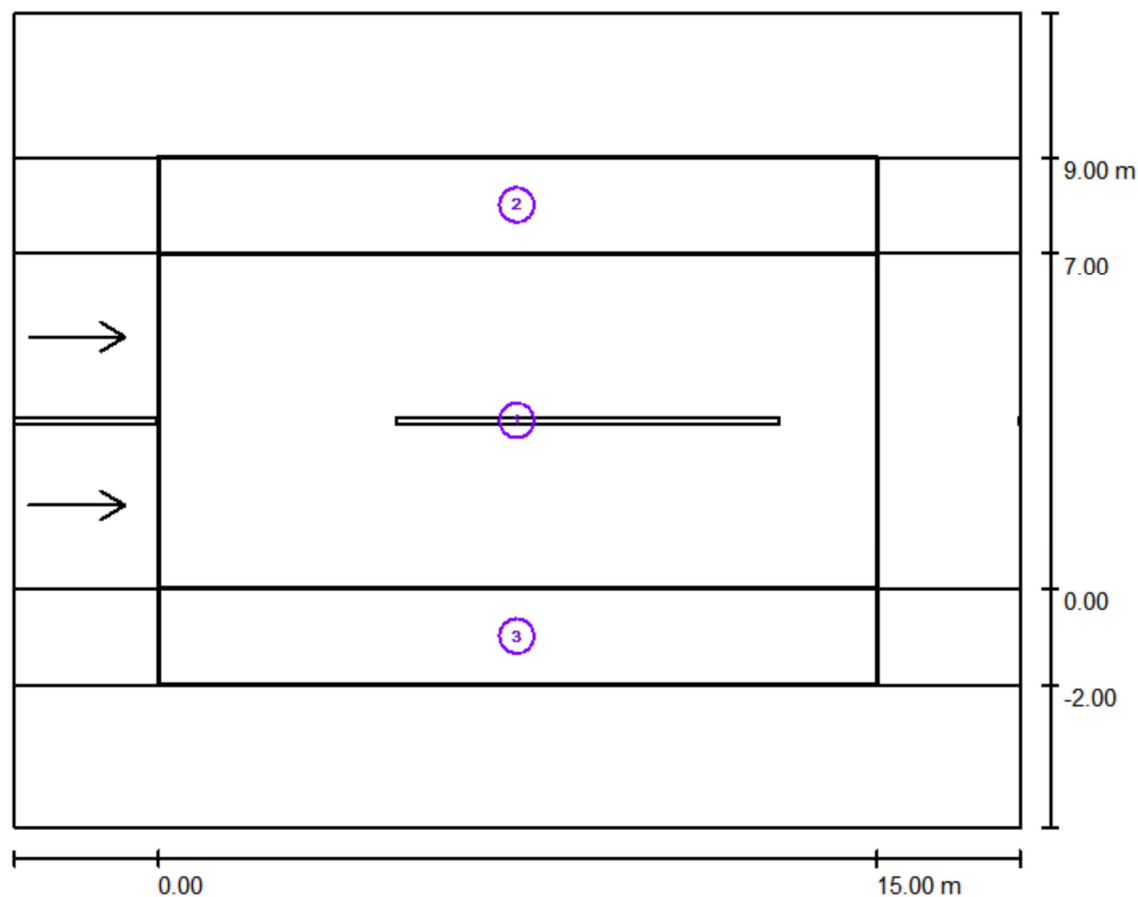
Selenium SGP340 is an efficient, ergonomic road-lighting luminaire. Its simple, rounded form reduces its daytime visual impact, allowing it to integrate into any kind of environment. Selenium incorporates the renowned T-POT reflector for excellent optical performance. Energy savings are possible by means of dimming with a switch or stand-alone Chronosense system (without pilot cable).

Selenium is suitable for side-entry or post-top mounting, with a choice of three tilt angles for optimal installation (0, 5, 15°).



Editor(a) Simaia Nascimento
 Telefone
 Fax
 e-Mail

Cenário 1 - HPS / Resultados Luminotécnicos



Factor de manutenção: 0.50

Escala 1:158

Lista de campo de avaliação

- 1 Campo de avaliação Pista de rodagem 1
 Comprimento: 15.000 m, Largura: 7.000 m
 Grelha: 10 x 6 Pontos
 Elementos de rua correspondentes: Pista de rodagem 1.
 Pavimento: R3, q_0 : 0.070
 Classe de iluminação seleccionada: ME4a

(Todas as exigências fotométricas foram cumpridas.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reais segundo o cálculo:	1.20	0.71	0.72	5	0.50
Valores nominais segundo a classe:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
Cumprido/não cumprido:	✓	✓	✓	✓	✓



Editor(a) Simaia Nascimento
Telefone
Fax
e-Mail

Cenário 1 - HPS / Resultados Luminotécnicos

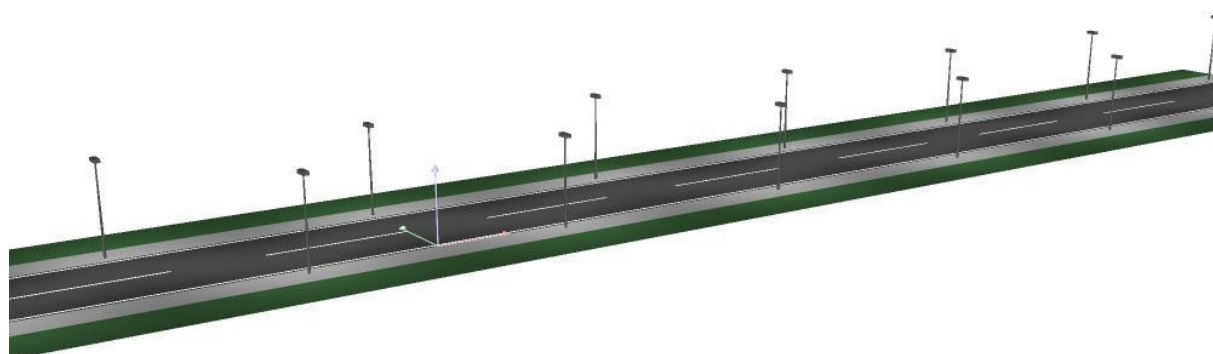
Lista de campo de avaliação

- 2 Campo de avaliação Passeio 1
Comprimento: 15.000 m, Largura: 2.000 m
Grelha: 10 x 3 Pontos
Elementos de rua correspondentes: Passeio 1.
Classe de iluminação seleccionada: CE5 (Todas as exigências fotométricas foram cumpridas.)
- | | E_m [lx] | U0 |
|------------------------------------|-------------|-------------|
| Valores reais segundo o cálculo: | 13.47 | 0.62 |
| Valores nominais segundo a classe: | ≥ 7.50 | ≥ 0.40 |
| Cumprido/não cumprido: | ✓ | ✓ |
- 3 Campo de avaliação Passeio 2
Comprimento: 15.000 m, Largura: 2.000 m
Grelha: 10 x 3 Pontos
Elementos de rua correspondentes: Passeio 2.
Classe de iluminação seleccionada: CE5 (Todas as exigências fotométricas foram cumpridas.)
- | | E_m [lx] | U0 |
|------------------------------------|-------------|-------------|
| Valores reais segundo o cálculo: | 13.47 | 0.62 |
| Valores nominais segundo a classe: | ≥ 7.50 | ≥ 0.40 |
| Cumprido/não cumprido: | ✓ | ✓ |



Editor(a) Simaia Nascimento
Telefone
Fax
e-Mail

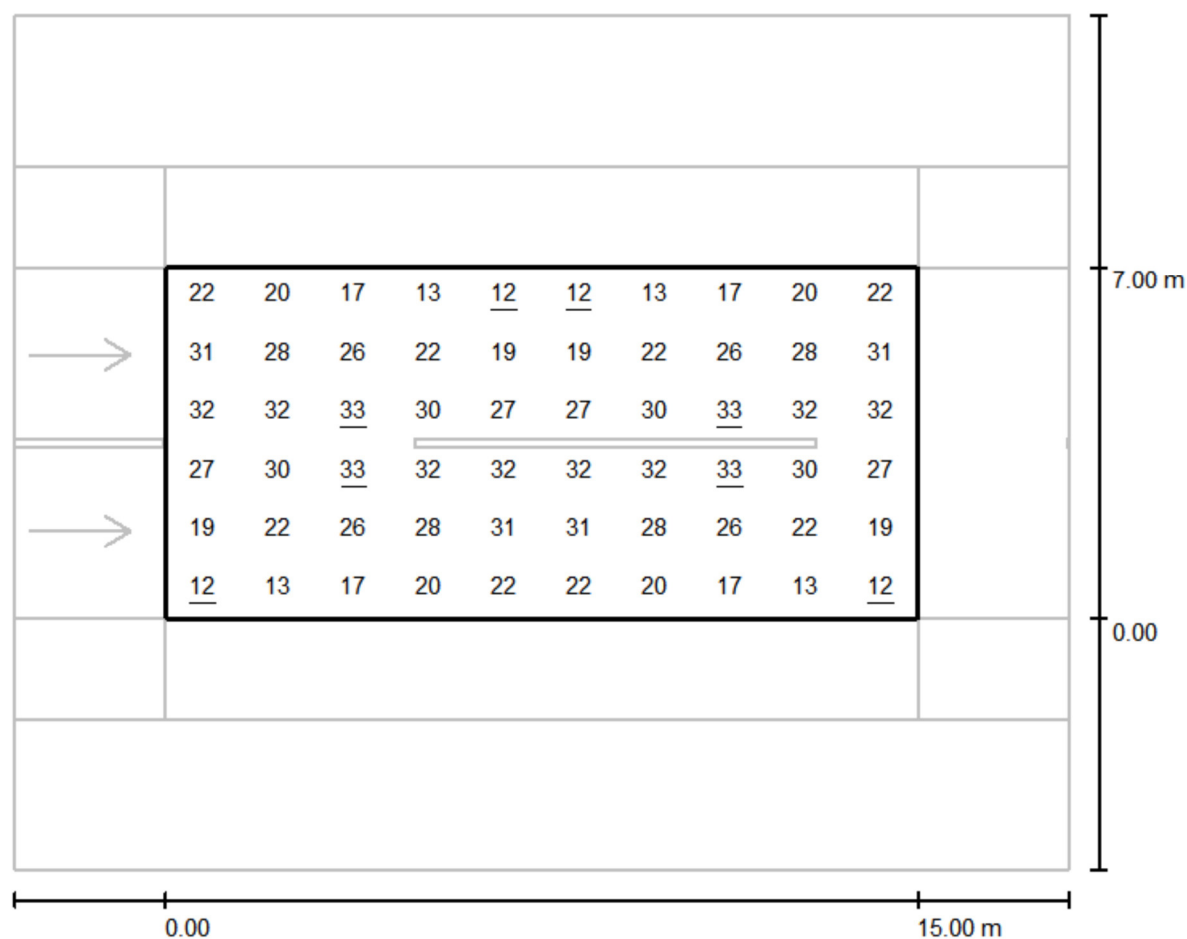
Cenário 1 - HPS / Representação 3D





Editor(a) Simaia Nascimento
 Telefone
 Fax
 e-Mail

Cenário 1 - HPS / Campo de avaliação Pista de rodagem 1 / Gráfico de valores (E)



Valores em Lux, Escala 1 : 151

Grelha: 10 x 6 Pontos

E_m [lx]
24

E_{min} [lx]
12

E_{max} [lx]
33

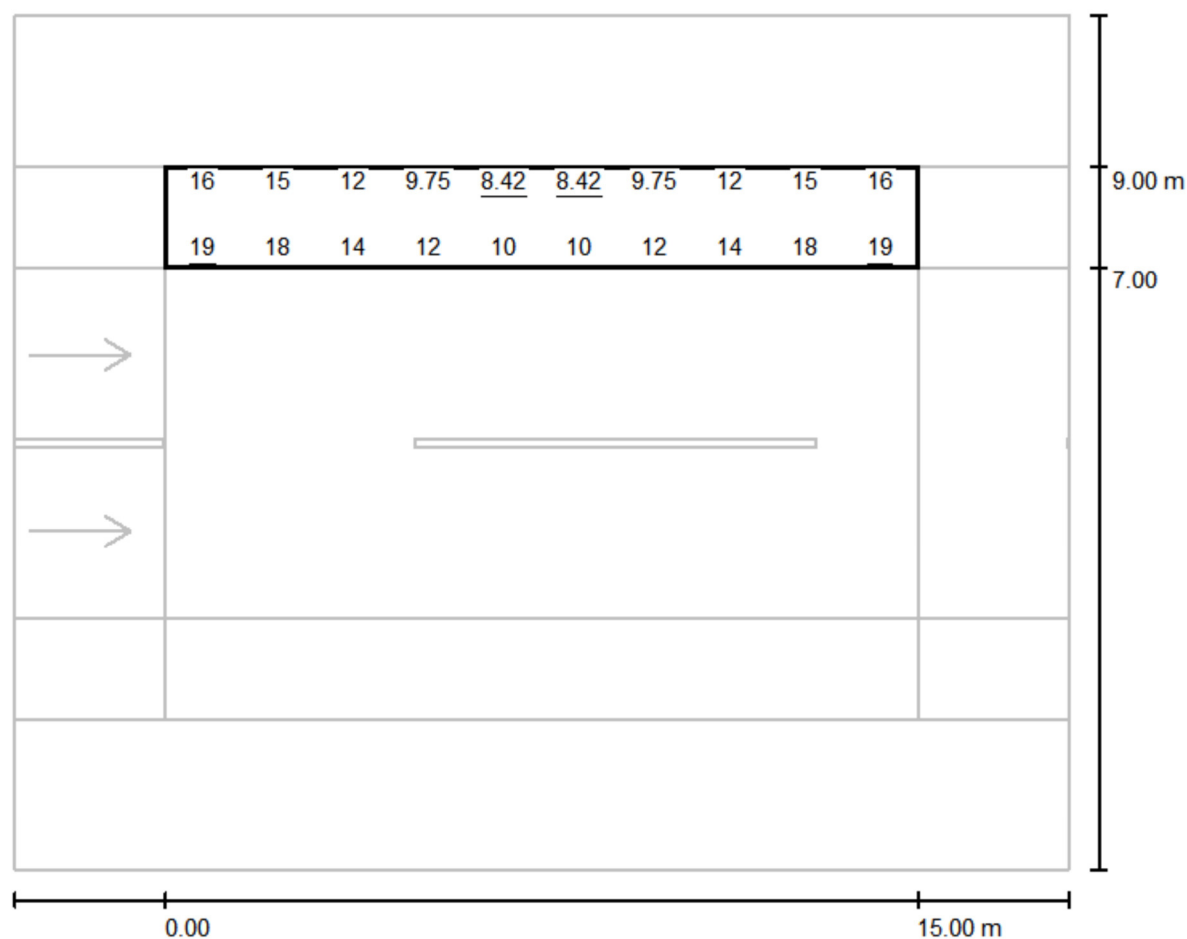
E_{min} / E_m
0.491

E_{min} / E_{max}
0.365



Editor(a) Simaia Nascimento
 Telefone
 Fax
 e-Mail

Cenário 1 - HPS / Campo de avaliação Passeio 1 / Gráfico de valores (E)



Valores em Lux, Escala 1 : 151

Nem todos os valores calculados podem ser representados.

Grelha: 10 x 3 Pontos

E_m [lx]
13

E_{min} [lx]
8.42

E_{max} [lx]
19

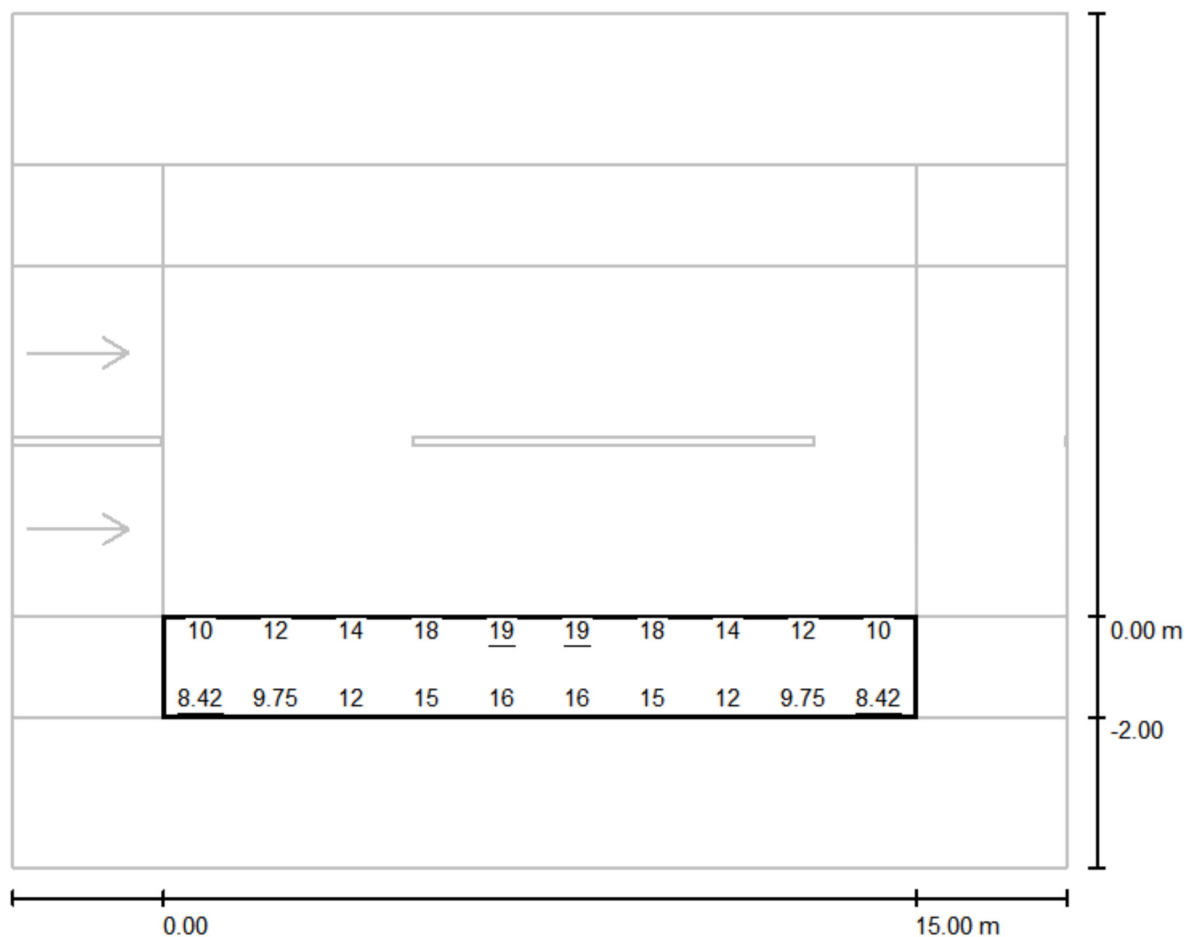
E_{min} / E_m
0.625

E_{min} / E_{max}
0.433



Editor(a) Simaia Nascimento
 Telefone
 Fax
 e-Mail

Cenário 1 - HPS / Campo de avaliação Passeio 2 / Gráfico de valores (E)



Valores em Lux, Escala 1 : 151

Nem todos os valores calculados podem ser representados.

Grelha: 10 x 3 Pontos

E_m [lx]
13

E_{min} [lx]
8.42

E_{max} [lx]
19

E_{min} / E_m
0.625

E_{min} / E_{max}
0.433



Editor(a) Simaia Nascimento
Telefone
Fax
e-Mail

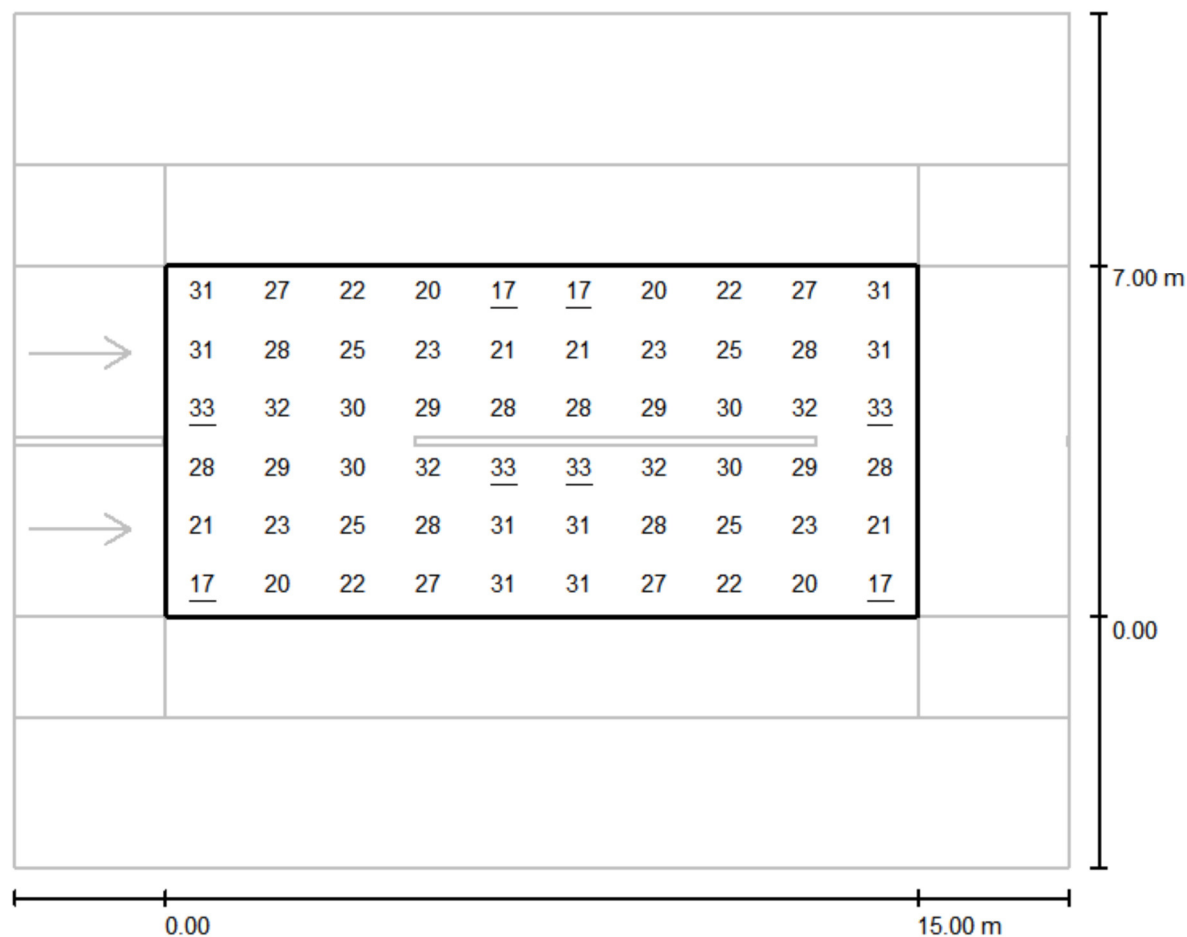
Cenário 2 - LED / Representação 3D





Editor(a) Simaia Nascimento
 Telefone
 Fax
 e-Mail

Cenário 2 - LED / Campo de avaliação Pista de rodagem 1 / Gráfico de valores (E)



Valores em Lux, Escala 1 : 151

Grelha: 10 x 6 Pontos

E_m [lx]
26

E_{min} [lx]
17

E_{max} [lx]
33

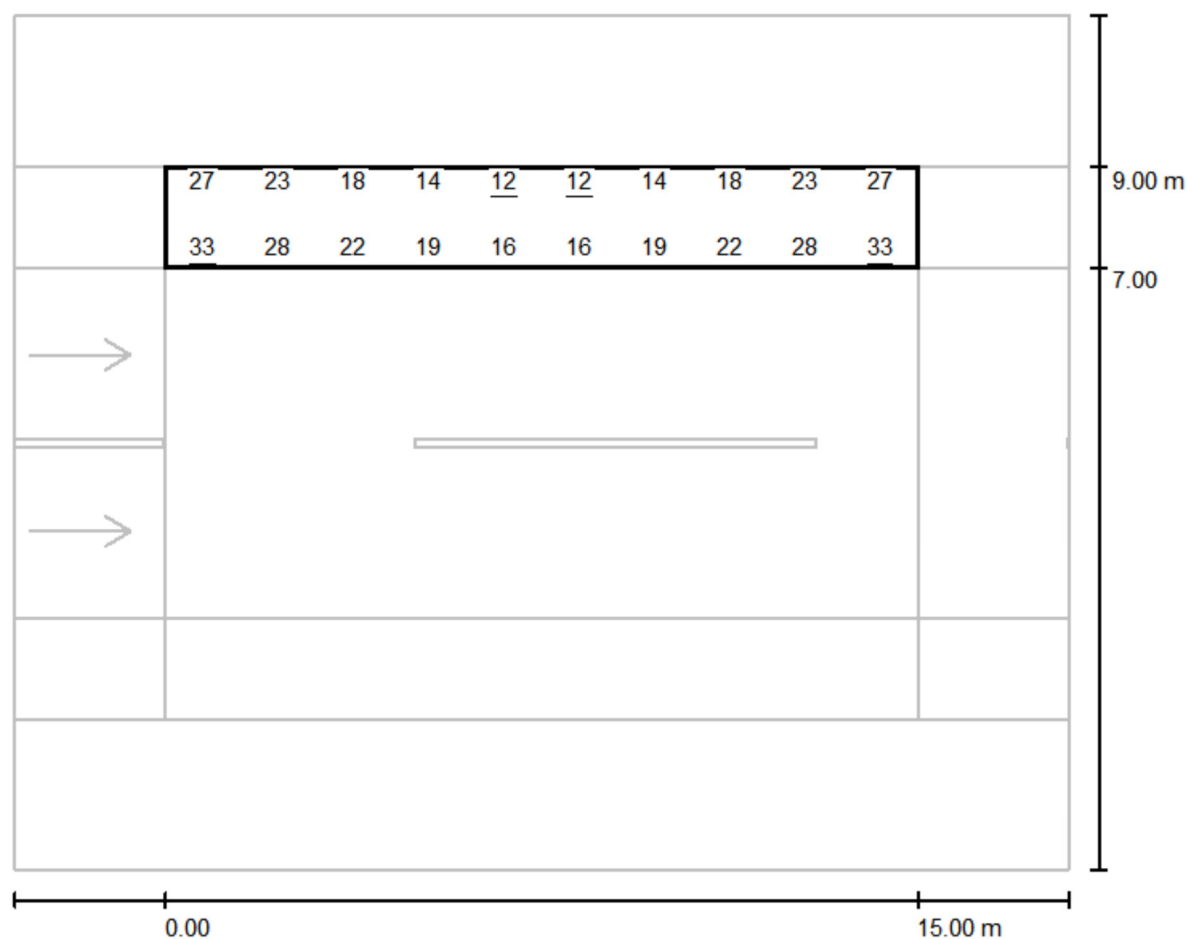
E_{min} / E_m
0.646

E_{min} / E_{max}
0.514



Editor(a) Simaia Nascimento
 Telefone
 Fax
 e-Mail

Cenário 2 - LED / Campo de avaliação Passeio 1 / Gráfico de valores (E)



Valores em Lux, Escala 1 : 151

Nem todos os valores calculados podem ser representados.

Grelha: 10 x 3 Pontos

E_m [lx]
22

E_{min} [lx]
12

E_{max} [lx]
33

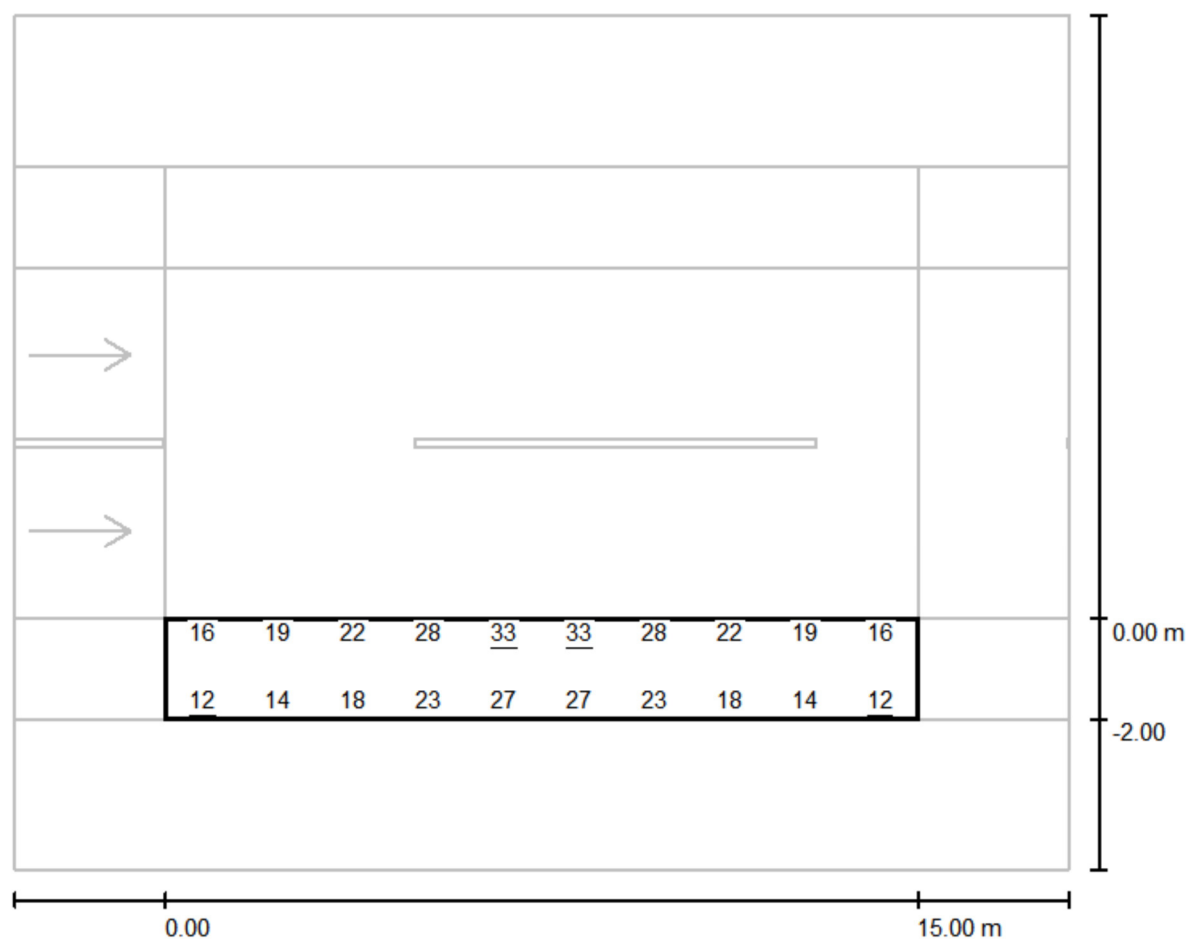
E_{min} / E_m
0.544

E_{min} / E_{max}
0.356



Editor(a) Simaia Nascimento
 Telefone
 Fax
 e-Mail

Cenário 2 - LED / Campo de avaliação Passeio 2 / Gráfico de valores (E)



Valores em Lux, Escala 1 : 151

Nem todos os valores calculados podem ser representados.

Grelha: 10 x 3 Pontos

E_m [lx]
22

E_{min} [lx]
12

E_{max} [lx]
33

E_{min} / E_m
0.544

E_{min} / E_{max}
0.356